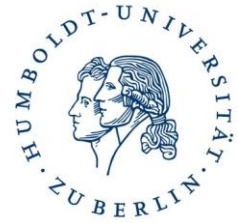


HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN



Lebenswissenschaftliche Fakultät

Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften

**Untersuchung zur Ertragsfähigkeit von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.)
unter differenziertem Wassereinsatz**

Bachelor-Arbeit im Studiengang: Agrarwissenschaften

Vorgelegt von: Wittern, Jonas

Erstprüfer: Prof. Dr. Dr. h.c. Ellmer, Frank

Fachgebiet: Acker- und Pflanzenbau

Zweitprüferin: Dr. Roß, Christina-Luise

Fachgebiet: Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte

Verteidigung der Bachelorarbeit: 05.07.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung und Zielstellung.....	1
2 Literaturübersicht.....	3
2.1 Geschichte.....	3
2.2 Bedeutung von Bewässerung im Kartoffelanbau	6
2.3 Crop Water Stress Index.....	7
3 Material und Methoden	10
3.1 Standortverhältnisse in La Molina, Peru	10
3.1.1 Klima und Witterung.....	11
3.1.2 Bodenverhältnisse	13
3.2 Versuchsbeschreibung	15
3.2.1 Versuchsanlage	15
3.2.2 Agrotechnische Maßnahmen	18
3.2.3 Prüffaktor und Prüfglieder	21
3.2.4 Prüfmerkmale.....	24
4 Ergebnisse	29
4.1 Crop Water Stress Index.....	29
4.1.1 Versuch A	29
4.1.2 Versuch B	30
4.2 Beziehung zwischen dem CWSI und dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens.....	31
4.3 Blattbedeckungsgrad	32
4.3.1 Versuch A	32
4.3.2 Versuch B	33
4.4 Erträge	34
4.4.1 Versuch A	34
4.4.2 Versuch B	35
4.5 Beziehung zwischen dem Endertrag und dem CWSI	36
4.6 Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt.....	37
4.6.1 Versuch A	37

4.6.2	Versuch B	38
4.7	Wassernutzungseffizienz	38
4.7.1	Versuch A	39
4.7.2	Versuch B	40
4.8	Knollenanzahl je Größeneinheit.....	40
4.8.1	Versuch A	41
4.8.2	Versuch B	42
4.9	Vergleich von Versuch B mit Versuch A	43
5	Diskussion.....	44
5.1	Verwendung der Bodenfeuchte und des CWSI als Indikator zur Einschätzung der Wasserversorgung des Bestandes	44
5.2	Erträge der vier Prüfglieder in Versuch A und Versuch B	47
5.3	Trockensubstanzgehalte in Versuch A und B	51
5.4	Knollengrößen und Knollenanzahl in Versuch A und B	52
5.5	Vergleich von Versuch A mit Versuch B	54
6	Zusammenfassung	57
7	Literaturverzeichnis	60
8	Anhang	69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des CIP, markiert in einer topographischen Karte (Quelle: GOOGLE MAPS 2018).....	11
Abbildung 2: Niederschlagsverteilung von den Jahren 2013 bis 2017 (Quelle: SENAMHI 2018 b) sowie im Jahr 2017/2018 von Oktober bis Januar in La Molina, Peru.....	12
Abbildung 3: Temperaturverlauf der Monatsdurchschnittstemperaturen von den Jahren 2013 bis 2017 (Quelle: SENAMHI 2018 b) sowie im Jahr 2017/2018 von Oktober bis Januar in La Molina, Peru.....	13
Abbildung 4: Am 13.10.2017 mit 250 Litern Wasser gesättigte Bodenoberfläche...	15
Abbildung 5: Versuchsanlage von PNIA: 016-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE im CIP...	16
Abbildung 6: Positionierung der Sub-Parzellen und des Boniturplots innerhalb einer Parzelle.....	17
Abbildung 7: Positionierung der Schläuche auf der Dammkrone in Prüfglied a3 am 75. Tag nach der Pflanzung (19.12.2017).....	22
Abbildung 8: Furchenbewässerung im Versuch B, Parzelle 21, Prüfglied a1 am 35. Tag nach der Pflanzung (09.11.2017).....	23
Abbildung 9: Aufnahme eines Infrarotfotos von dem Boniturplot der Parzelle 29 Prüfglied a2 am 74. Tag nach der Pflanzung (18.12.2017).....	25
Abbildung 10: Thermographie von Prüfglied a4 im Versuch A, 46. Tag nach der Pflanzung (20.11.2017).....	26
Abbildung 11: Messwerte des CWSI in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung in Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung.....	30
Abbildung 12: Messwerte des CWSI in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung in Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung.....	31
Abbildung 13: Beziehung zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI, die Messergebnisse von Versuch A sind in der linken Graphik, die von Versuch B in der rechten Graphik abgetragen.....	32

Abbildung 14: Verlauf der prozentualen Blattbedeckungsgrade in Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben an dem selben Tag nach der Pflanzung kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	33
Abbildung 15: Verlauf der prozentualen Blattbedeckungsgrade in Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben an dem selben Tag nach der Pflanzung kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	34
Abbildung 16: Knollenerträge zu den sechs Ernteterminen in $t\ ha^{-1}$ Frischmasse, sowie $m^3\ ha^{-1}$ Wasser, das bis zu den jeweiligen Ernteterminen in den Prüfgliedern in Versuch A eingesetzt wurde; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	35
Abbildung 17: Knollenerträge zu den sechs Ernteterminen in $t\ ha^{-1}$ Frischmasse, sowie $m^3\ ha^{-1}$ Wasser, das bis zu den jeweiligen Ernteterminen in den Prüfgliedern in Versuch B eingesetzt wurde; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)	36
Abbildung 18: Beziehung zwischen dem Ertrag in $t\ ha^{-1}$ Frischmasse und dem CWSI in Versuch A und Versuch B.....	37
Abbildung 19: Durchschnittliche Menge Wasser sowie die durchschnittliche Wassernutzungseffizienz je Prüfglied in Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in der letzten Zeile der Datentabelle kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	39
Abbildung 20: Durchschnittliche Menge Wasser sowie die durchschnittliche Wassernutzungseffizienz je Prüfglied in Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in der letzten Zeile der Datentabelle kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	40
Abbildung 21: Zuordnung der Knollen der einzelnen Prüfglieder in Größenklassen zum Zeitpunkt der letzten Ernte in Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in den Balken innerhalb einer Größenklasse kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	41

Abbildung 22: Zuordnung der Knollen der einzelnen Prüfglieder in Größenklassen zum Zeitpunkt der letzten Ernte in Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in den Balken innerhalb einer Größenklasse kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).....	42
Abbildung 23: Prozentuale Unterschiede des Wassereinsatzes und der Frischmasseerträge vom Versuchs B zum Versuch A zum Zeitpunkt der sechsten Ernte.....	43
Abbildung 24: Gegenüberstellung der Entwicklung von den Kartoffelpflanzen (links aus dem Prüfglied a1; rechts aus dem Prüfglied a4) am 35. Tag nach der Pflanzung (09.11.2017).....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Ergebnisse der Bodenprobenanalyse von ausgewählten chemischen Parametern des Bodens von der Versuchsfläche des CIP (¹ in %, ² in ppm).....	14
Tabelle 2: Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Kationenaustauschkapazität des Bodens von der Versuchsfläche des CIP (¹ in cmol ⁺ kg ⁻¹).....	14
Tabelle 3: Aufwendungen an Pflanzenschutzmitteln, Anwendungszeitpunkt und deren Mittelaufwand (¹ Liter je 200 Liter Wasser, ² kg je 200 Liter Wasser, ³ kg ha ⁻¹).....	20
Tabelle 4: Trockensubstanzgehalt in % und Trockenmasseertrag in t ha ⁻¹ im Durchschnitt je Prüfglied zum sechsten Erntetermin; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$) in Versuch A.....	38
Tabelle 5: Trockensubstanzgehalt in % und Trockenmasseertrag in t ha ⁻¹ im Durchschnitt je Prüfglied zum sechsten Erntetermin; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$) in Versuch B.....	38

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Ca ²⁺	Calcium
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CIP	Centro Internacional de la Papa
CWSI	Crop Water Stress Index
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
K ⁺	Kalium
KAK	Kationenaustauschkapazität
Mg ²⁺	Magnesium
Na ⁺	Natrium
OBS	Organische Bodensubstanz
pH-Wert	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionen-Aktivität
PNIA	Programa Nacional de Innovación Agraria
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
TM	Trockenmasse
TNP	Tage nach der Pflanzung
ü. NN.	über Normalnull
UPMSI	Unidad de Promoción del Mercado de los Servicios de Innovación
n. Chr.	nach Christus
v. Chr.	vor Christus
±	Standardabweichung

\emptyset	arithmetisches Mittel
$^{\circ}\text{C}$	Grad Celsius
θ_{grav}	gravimetrischer Wassergehalt des Bodens in %
θ_{vol}	volumetrischer Wassergehalt des Bodens in %

1 Einleitung und Zielstellung

Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) zählen heutzutage nach Reis, Weizen und Mais zu dem viertwichtigsten Nahrungsmittel der Welt (FAO 2008 a), sie sind für mehr als 1,4 Milliarden Menschen ein Grundnahrungsmittel von dem mehr als 50 kg je Person pro Jahr konsumiert wird (CIP 2018).

Die über 4000 essbaren Sorten der Kartoffel werden vom Meeresniveau bis auf 4700 m ü. NN, vom Süden Chiles bis nach Grönland (CIP 2018), in etwa 125 Ländern angebaut und über 1 Milliarde Menschen essen sie täglich (MULLINS et al. 2006). Im Vergleich zu Weizen oder Reis produzieren Kartoffeln bis doppelt so viel Trockenmasse und Kalorien pro Flächen- und Zeiteinheit und werden als eine der effizientesten Feldfrüchte betrachtet (HOOKER 1983).

Die Vereinten Nationen beschlossen das Jahr 2008 zum „Internationalen Jahr der Kartoffel“ zu ernennen. Laut UNO-RESOLUTION 60/191 war damit beabsichtigt, die Rolle, welche Kartoffeln beim Erreichen der international vereinbarten Entwicklungsziele, einschließlich der Millenniums-Entwicklungsziele, in der Ernährungssicherung und Armutsbekämpfung einnehmen können, hervorzuheben.

Kartoffeln, welche heute einen fundamentalen Bestandteil in der Nahrungsmittelsicherheit für Millionen von Personen in Asien, Afrika und Südamerika darstellen, erfuhren in den Entwicklungsländern ab Mitte des 20. Jahrhunderts einen stärkeren Anstieg in der Anbaufläche als jede andere Feldfrucht (CIP 2018).

Doch aufgrund der zunehmenden Kultivierung von Kartoffeln in ariden Regionen, als auch durch ein häufigeres auftretenden von Trockenperioden, werden zukünftig verstärkte Auswirkungen von Wassermangel im Kartoffelanbau erwartet (MONNEVEUX et al. 2013). Durch die Wasserversorgung können die Ernteerträge deutlich erhöht werden, sie kann jedoch auch zu dem entschiedensten ertragslimitierenden Faktor im Kartoffelanbau werden (YUAN et al. 2003). Vor dem Hintergrund von den auf Trockenstress begründeten Ertragsausfällen (OBIDIEGWU et al. 2015), der steigenden Notwendigkeit der Bewässerung auf bisher unbewässerten Flächen (FRICKE 2017), sowie die in vielen Regionen zunehmend

geringer werdenden Wasserreserven, kommt einem effizienten Wassereinsatz in der Landwirtschaft eine wachsende Bedeutung hinzu (LEVY, COLEMAN 2014).

Die Notwendigkeit der Entwicklung von Strategien, die ohne Ertrags- und Qualitätsminderung Wasser einsparen (RAMÍREZ et al. 2016), erscheint sowohl aufgrund der so bedeutenden Rolle der Kartoffel für die globale Ernährungssicherheit, als auch wegen des hohen, zwischen $3500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ und $6500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ liegenden Wasserverbrauch von Kartoffeln, als besonders wichtig (SOOD, SINGH 2003).

Ziel dieser Arbeit soll es sein, die Ertragsrelevanz von einem differenzierten Wassereinsatz im Kartoffelanbau zu untersuchen, um zukünftig durch mögliche Effizienzsteigerungspotentiale im Wassereinsatz den Kartoffelanbau in ariden Regionen nachhaltig zu ermöglichen. Im Rahmen der Versuche wurde hierfür ein besonderer Fokus auf die geeignete Bewässerungssteuerung mit dem Crop Water Stress Index, als auch auf die Bewässerung mit Tröpfchen- und Furchenbewässerung gelegt.

2 Literaturübersicht

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Einblick in die Geschichte der Kartoffel, die Rolle der Kartoffel für die Welternährung, die Bedeutung der Bewässerung im Kartoffelanbau sowie in die Bewässerungssteuerung im Kartoffelanbau gegeben werden.

2.1 Geschichte

Die ersten und ältesten archäologischen Nachweise von Wildkartoffeln gehen in den heutigen Süden Chiles nach Monte Verde, auf 13000 Jahre vor unserer Zeitrechnung zurück (UGENT et al. 1987). Dagegen werden die ältesten Funde von kultivierten Kartoffel auf 7000 Jahre v. Chr. zurückgeführt, wo sie im Chilca-Tal des heutigen Perus, von den Ureinwohnern angepflanzt wurden (MARTINS 1976). Nachweise über die große Bedeutsamkeit von Kartoffeln gehen in die Moche-Kultur, auf die Jahre 100 bis 600 n. Chr. zurück, in der Kartoffelknollen nicht nur auf Keramiken abgebildet, sondern auch als Grabbeigabe verwendet wurden (LOREY 2006). Die ehemaligen Einwohner des heutigen Perus verehrten die Kartoffel, mit den spießenden Keimen galt sie als Symbol der Fruchtbarkeit, für eine gute Ernte sorgte die Kartoffelgöttin „Axomama“ (ADAM, SCHADE 2008). LA BARRE 1947 betonte, dass die Kartoffeln durch ihre Anbaueignung auch noch in Höhen von über 3500 m ü. NN, die Existenz der Hochlandkulturen der Anden erst ermöglichte.

Während Kartoffeln für die Ureinwohner der Anden Südamerikas die wohl wichtigste Nahrungsquelle darstellten, waren sie bis zum 16. Jahrhundert in Europa, Asien, Afrika und Nordamerika unbekannt (HAWKES 1994). Nachdem Kolumbus im Jahre 1492 die „Neue Welt“ entdeckte, gelangten viele Pflanzen schnell nach Europa. Die Kartoffel, welche erst im Jahre 1532 von den spanischen Konquistadoren entdeckt wurde, erreichte Europa jedoch deutlich später (HAWKES, FRANCISCO-ORTEGA 1993). Erste Beschreibungen von Kartoffeln wurden in dem Jahr 1535 in dem Werk „Nueva Corónica y buen Gobierno“ von dem spanischen Soldaten Felipe Guamán Poma de Ayala, indem eine Zeichnung die Kartoffelernte im Hochland Kolumbiens illustrierte, festgehalten. Obwohl das Manuskript im Jahre 1616 an den spanischen König Phillip II übergeben wurde, fand das Wissen in Europa, trotz der vorhandenen

Dokumentation über die Rolle und den Anbau von Kartoffeln im Andenhochland, erstmals keine weitere Anwendung (BROWN, HENFLING 2014).

Da keine Berichte über die erste Einfuhr von den Kartoffeln nach Europa vorliegen, beruhen Nachweise über deren Präsenz auf der Dokumentation von dem Handel mit Kartoffeln. Erste Nachweise gehen auf den November des Jahres 1567 zurück, von den Kanarischen Inseln wurden Kartoffeln nach Antwerpen verschifft. Nur wenige Jahre später wird der Ankauf von Kartoffeln auf einer aus dem Jahre 1573 stammenden Rechnung vom „Hospital de la Sangre“ in Sevilla festgehalten (HAWKES, FRANCISCO-ORTEGA 1993).

Im Jahre 1589 gelangten über den Botaniker Carolus Clusius die ersten Kartoffeln nach Deutschland, doch die hierzulande als exotische Kuriosität angesehenen Kartoffelpflanzen, wurde erstmals nur aufgrund ihrer hübschen Blüten zur Zier in Lustgärten angepflanzt und von Fürstenhof zu Fürstenhof weitergegeben (KILIAN 1988). Nach der Beendigung des Dreißigjährigen Krieges, wurden nach Anordnung von Friedrich Wilhelm im Lustgarten am Berliner Schloss Kartoffeln angepflanzt (ADAM, SCHADE 2008). Im Jahr 1744 probierte Friedrich der Große, welcher das Potential von Kartoffeln zur Ernährung des Volkes und des Militärs erkannte, durch die Verteilung von Knollen den Kartoffelanbau zu fördern. Im Jahr 1756 verordnete er den ersten „Kartoffelbefehl“. Friedrich der Große gab den Bauern in Preußen Anweisungen, wie Kartoffeln anzubauen seinen, deren korrekte Durchführung er von Soldaten überwachen ließ (LOREY 2006). Über die Ergebnisse des Kartoffelanbaus gab er jedoch im Jahr 1768 seine Unzufriedenheit kund. Vermutlich führte der Mangel an Aufklärung im Anbau und Nutzung der Kartoffeln zu Missverständnissen, berichtet wurde von Gesundheitsproblemen aufgrund des Verzehrs von Beeren und unreifen Kartoffeln (NITSCH 2013). Hinzu kam, dass die eingeführten südamerikanischen Kartoffeln Kurztagpflanzen waren, die Knollenausbildung trat unter den langen Sommertagen Europas sehr verspätet ein, wodurch die niedrige Temperaturen über Nacht im September und Oktober den Ertrag verminderten (HAWES 1992). Mehrere Jahrhunderte unbewusster Selektion führten dazu, dass *Solanum tuberosum* L. subsp. *Andigena* an die langen nordeuropäischen Sommertage angepasst wurde (HAWKES 1994).

Die Kombination von lang andauernden Wintern mit feuchten Sommern in den Jahren 1770 bis 1772 führte zu großen Verlusten in den Getreideernten. Die hieraus entstehenden Hungersnöte begünstigten die Verbreitung der Kartoffeln in Preußen, wo sie bisher nur als Viehfutter genutzt wurde, entwickelte sie sich zum Volksnahrungsmittel (OTTENJANN, ZIESSOW 1992). Besonders deutlich wird die essentielle Rolle der Kartoffel für die Ernährung an der in den Jahren 1845/46 in Irland ausgebrochenen Hungersnot. Die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) vernichtete die Kartoffelernte, als Folge kam es zur Hungersnot, es starben 1,5 Millionen Iren, weitere 1,5 Millionen Iren wanderten aus (NITSCH 2013).

Nicht nur lassen sich laut NUNN, QIAN 2011 rund 25 % des Bevölkerungswachstum zwischen den Jahren 1700 und 1900 in Europa auf den Verzehr von Kartoffeln zurückführen, auch weisen sie auf Zusammenhänge zwischen dem Verzehr von Kartoffeln und der Zunahme der Körpergröße hin.

Als eine Reaktion auf die Probleme, die Entwicklungsländer in der Nahrungsmittelproduktion hatten, wurde im Jahre 1971 die Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) gegründet. Da in Entwicklungsländern ein wachsendes Interesse am Anbau und Konsum von Kartoffeln aufkam, sollte die Entwicklung des Kartoffelanbaus unterstützt werden. Mit dem Ziel, die Potentiale des Kartoffelanbaus in Entwicklungsländern auszuschöpfen, wo Kartoffeln vom Luxusgut zu einem Grundnahrungsmittel werden sollten, wurde im selben Jahr das dem CGIAR angehörige Forschungsinstitut, Centro Internacional de la Papa (CIP) mit Hauptsitz in Lima, Peru gegründet (INTERNATIONAL POTATO CENTER 1984).

DIOUF 2008 fällt über die Bedeutung der Kartoffel ein treffendes Urteil:

„The Potato is on the Frontline in the fight against world hunger and poverty”

Im Jahre 2005 hat erstmals die in Entwicklungsländern produzierte Menge an Kartoffeln mit 52 % jene aus Industriestaaten überboten (FAO 2008 b), mit ansteigender Tendenz, denn in den letzten 5 Jahren stammen schon etwa 60 % der Weltproduktion aus Entwicklungsländern (CIP 2018).

In Deutschland, wo im Jahre 1961 noch auf einer Fläche von 1,65 Millionen Hektar Kartoffeln in Deutschland angebaut wurden, ist ein kontinuierlicher Rückgang in der

Anbaufläche von Kartoffeln zu verzeichnen. Im Jahr 2016 wurden etwa 242.500 Hektar zum Kartoffelanbau verwendet, dies kommt einer Verkleinerung der Anbaufläche im Vergleich zum Jahre 1961 um etwa 85 % gleich (FAO 2018). Der starke Rückgang in den Anbauflächen ist mit der weitgehenden Einstellung des Futterkartoffelanbaus und dem geringeren Verzehr von Speisekartoffeln zu begründen, welcher in Deutschland von 160 kg je Kopf je Jahr Mitte der 50er Jahre auf heute 67 kg zurückgegangen ist (PROPLANTA 2018). Nach ZIRWES 1987 entspricht der Abfall des Kartoffelkonsum dem Trend, aufgrund gestiegener Einkommen „höher-wertige“ Nahrungsmittel nachzufragen. Im Zuge sich verändernder Verzehr- und Nutzungseigenschaften entfallen heute jeweils 25 % der Kartoffelernte auf Veredelungsprodukte und Industriekartoffeln, gefolgt von 17 % für Frischkartoffeln (DIEPENBROCK et al. 2012).

Heutzutage hat sich China als größter Kartoffelerzeuger weltweit etabliert, gefolgt von Russland und Indien. Deutschland steht weltweit auf Platz sechs, europaweit nach Polen auf dem zweiten Platz. Der Anteil von Kartoffeln an der Gesamtackerfläche in Deutschland liegt bei etwa 2 % (BLE 2017).

2.2 Bedeutung von Bewässerung im Kartoffelanbau

In vielen Regionen der Erde wird durch einen zu geringen Wassereinsatz der Ertrag von Kulturen gemindert (JONES 2014), zudem wird die Wasserverfügbarkeit in vielen Gegenden wo Landwirtschaft betrieben wird geringer (OBIDIEGWU et al. 2015). FERERES, SORIANO 2007 betonen, dass obwohl zukünftig eine unzureichende Wasserverfügbarkeit für Bewässerungszwecke eher die Regel, als die Ausnahme sein wird, Bewässerungen in vielen Regionen ohne den geringsten Sinn für Ressourcenschutz und Nachhaltigkeit erfolgen. Anstatt die Produktion weiterhin in der Einheit kg ha^{-1} anzugeben, wird aus ihrer Sicht die Einheit der Zukunft Liter Wasser je produziertem kg Nahrung lauten. Kartoffeln, die sich einerseits durch ihr oberflächliches Feinwurzelwerk, in dem tiefgehende Pfahlwurzeln fehlen charakterisieren (NITSCH 2013), andererseits mit der geringen Speicherfähigkeit von Bodenwasser der Sandböden, auf denen sie normalerweise kultiviert werden, reagieren sehr sensibel auf Trockenstress (RUD et al. 2014) und schon relativ kurze Trockenperioden können eine signifikante Reduzierung an

marktfähigen Knollen bewirken (NICHOLS, RUF 1967; WALWORTH, CARLING 2002). Prognosen sagen für das Jahr 2050 als Folge von zunehmenden Trockenperioden einen weltweiten Rückgang von 18 % bis 32 % in den Kartoffelerträgen hervor (HIJMANS 2003). SPOHRER 2015 berichtet, dass auch in Deutschland der Klimawandel nicht mehr aufzuhalten sei, sich in Form einer ausgeprägteren Sommertrockenheit ausdrückt und aus dem damit einhergehenden erhöhten Bewässerungsbedarf erwartet er geringer werdende Wasserreserven. In Anbetracht dieser Tatsachen liegt die Bedeutsamkeit der Entwicklung von Strategien für einen effizienteren Einsatz von Wasser im Kartoffelanbau auf der Hand.

Niedersachsen, das Bundesland in dem mehr als 300.000 ha Agrarfläche bewässert werden (SYNGENTA 2015), ist mit einem Anteil von 51 % an der deutschen Kartoffelproduktion beteiligt. Auf bewässerten Standorten wird in Niedersachsen im Durchschnitt ein Mehrertrag von 38 dt ha⁻¹ Kartoffeln verzeichnet, als auf den nicht bewässerten Standorten (LANDESAMT FÜR STATISTIK NIEDERSACHSEN 2015). Der Wassereinsatz erfolgt hier sowohl zum Auffüllen der Wasservorräte im Boden, als auch zur Frostberegung von Frühkartoffeln (HOLLWEG 2016).

MEYER 2016, ein Landwirt aus Niedersachsen, traf folgendes Urteil:

„Beregung ist alternativlos, sonst ist der Standort hier tot.“

Um Bußgelder zu vermeiden, ist jeder Millimeter Wasser möglichst gewinnbringend einzusetzen, denn das Wasserkontingent welches den Landwirten für die Bewässerung zur Verfügung steht, ist begrenzt (HOLLWEG 2016).

OBIDIEGWU et al. 2015 kommen zu dem Schluss, dass die wohl größte Herausforderung in der Landwirtschaft für die nächsten Jahrzehnte darin liegen wird, die Ertragsfähigkeit unter reduzierter Wasserverfügbarkeit beizubehalten.

2.3 Crop Water Stress Index

Die weltweit knapper werdende Ressource Wasser und der dadurch steigende Preis für Bewässerung führen zur Entwicklung von Methoden, die versuchen, den Wasserverbrauch zu minimieren und gleichzeitig die Wassereffizienz zu maximieren (JONES 2004). Mit dem Ziel, den Bestand zum richtigen Zeitpunkt mit der

angemessenen Menge Wasser zu versorgen, wird probiert, Aussagen über den Trockenstress von Pflanzen zu treffen. Hierfür verwendete Methoden reichen von Ansätzen, die auf meteorologischen Messungen basieren und die Zeit ohne Niederschläge oder die Evapotranspirationsrate messen, über Methoden, die von der Bodenfeuchte auf den Wasserversorgungszustand der Pflanzen schließen, bis hin zu Messtechniken, in denen der Trockenstress direkt an den Pflanzen gemessen wird (JONES 2014). ANTER et al. 2017 berichten, dass heutzutage die Erfahrungen der Landwirte in Kombination mit agrarklimatischen Berechnungsmodellen die Grundlage sind, auf der die Entscheidungen über Zeitpunkte und Mengen einer Bewässerung getroffen werden.

In Anbetracht eines optimierten Einsatzes an Wasser erscheint ein möglichst präziser Einblick in den aktuellen Versorgungsgrad der Pflanze mit Wasser von Vorteil. JONES 2004 betont, dass die aussagkräftigsten Informationen über den Wasserversorgungsgrad in Reaktionen zu finden sind, welche direkt von den Pflanzen ausgedrückt werden.

Bereits im Jahre 1966 schlugen WIEGAND, NAMKEN 1966 vor, anhand der Blatttemperatur, Rückschlüsse auf die Wasserversorgung der Pflanze zu ziehen. Heutzutage ist die am weitesten verbreitete Technik, um basierend auf der Blatttemperatur Trockenstress an Pflanzen zu erfassen, der „Crop Water Stress Index“ (CWSI) (YUAN et al. 2004). Der Zusammenhang zwischen der Blatttemperatur und dem Trockenstress beruht auf der Tatsache, dass ausreichend mit Wasser versorgte Pflanzen ihre Stomata öffnen, folglich bewirkt die kühlende Wirkung der Transpiration einen Abfall in der Temperatur der Blattoberflächen (ERDEM et al. 2006). Als erste Reaktion auf Trockenstress ist das Schließen der Stomata beobachtet worden (LEVY, COLEMAN 2013), dadurch kommt es zu einem Rückgang in der Transpiration und als Folge dessen zu einem Anstieg in der Blatttemperatur (RUD et al. 2014). Zusammenfassend beschreibt FUCHS 1990 dies als eine inverse Korrelation zwischen der Blatttemperatur und dem Öffnungsgrad der Stomata.

Zur Berechnung des CWSI wird neben der Blatttemperatur zudem eine untere Temperaturgrenze und eine obere Temperaturgrenze benötigt. Während die untere

Temperaturgrenze eine mit Wasser versorgte, uneingeschränkt transpirierende Pflanze, deren Stomata geöffnet sind repräsentiert, stellt die obere Temperaturgrenze eine Pflanze unter Trockenstress, mit geschlossenen Stomata und eingestellter Transpiration dar (YUAN et al. 2004). Die Skala vom CWSI reicht von 0 für kein Trockenstress, bis 1 für Trockenstress (JACKSON et al. 1981).

PRASHAR et al. 2013 weisen darauf hin, dass in Folge von Trockenheit es nicht allein zur Schließung der Stomata kommt und folglich der Wasserverlust minimiert wird, sondern sich parallel auch die Photosynthese minimiert, und eine Reduzierung des Ertrags und des Wachstum zu erwarten ist.

3 Material und Methoden

Die Daten für die vorliegende Bachelorarbeit wurden im Rahmen des Forschungsprojektes PNIA: 016-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE unter der Leitung von dem „Crop Ecophysiology and Modeling Laboratory“ im Centro Internacional de la Papa (CIP) in La Molina, Peru erhoben. Die Ertragsfähigkeit von Kartoffeln unter differenzierter Bewässerung wurde in zwei Versuchen untersucht. Die Bewässerungsentscheidungen wurden basierend auf dem CWSI getroffen, der Wassereinsatz erfolgte in Versuch A mit der Tröpfchenbewässerung und in Versuch B mit der Furchenbewässerung.

Im Folgenden sollen die Standortverhältnisse, die Versuchsanlage, die Versuchsdurchführung, der Prüffaktor und die Prüfglieder, sowie die Prüfmerkmale näher beschrieben werden.

3.1 Standortverhältnisse in La Molina, Peru

Das Centro Internacional de la Papa liegt bei 12° 4' 41,426" südlicher Breite und 76° 56' 53,739" westlicher Länge (GOOGLE MAPS KOORDINATEN 2018), in einer Höhe von 244 m ü. NN. Es befindet sich in La Molina, einem Stadtbezirk der peruanischen Hauptstadt Lima, rund 15 Kilometer südöstlich vom Stadtzentrum Limas entfernt (GOOGLE MAPS 2018).

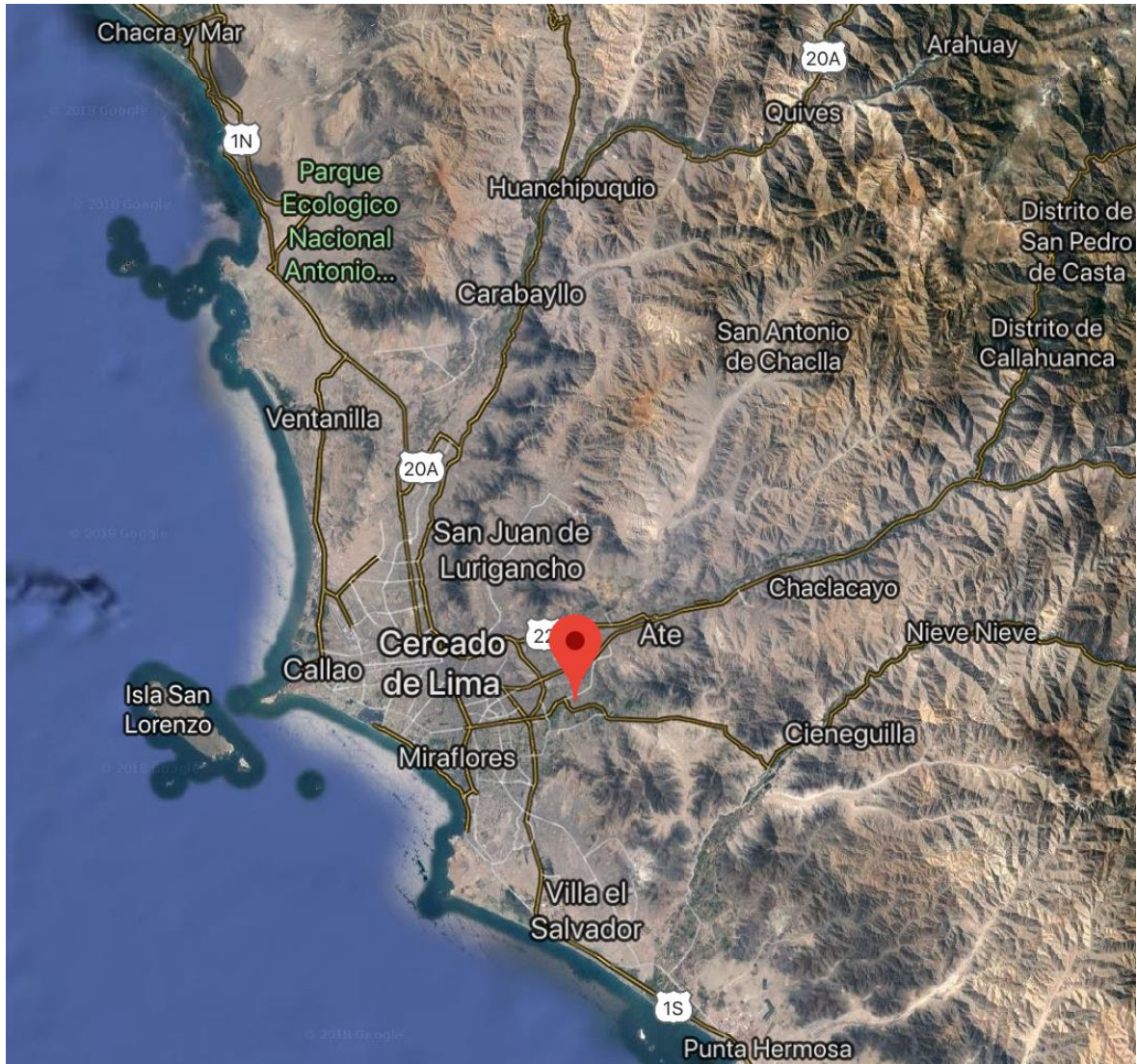


Abbildung 1: Lage des CIP, markiert in einer topographischen Karte (Quelle: GOOGLE MAPS 2018)

3.1.1 Klima und Witterung

Lima wird der sich an der peruanischen und chilenischen Pazifikküste erstreckenden Wüstenregion zugeordnet (FAO-UNESCO 1971). Die Küstenregion Limas ist, mit Ausnahme des Eintretens von dem Wetterphänomen „El Nino“, aus dem unverhältnismäßig stark ausfallende Niederschlagshöhen resultieren, durch ein extrem niederschlagarmes Klima mit Durchschnittsjahrestemperaturen zwischen 18 und 19 Grad Celsius geprägt (SENAMHI 2018 a).

Die Wetterstation der Forschungsstation hat die Niederschlagshöhen, sowie die Temperaturverläufe, während der Versuchszeit in den Monaten Oktober 2017 bis

Januar 2018 registriert. Zum Vergleich werden die Niederschlagshöhen sowie die Temperaturverläufe der Monate Oktober, November, Dezember und Januar, ausgehend vom Oktober 2013 bis Januar 2017, aufgeführt. Diese Werte stammen von der Messstation „Von Humboldt“, welche sich nur wenige Gehminuten vom Centro Internacional de la Papa, in der „Universidad Nacional Agraria La Molina“ befindet. Die Durchschnittstemperaturen und Niederschlagshöhen der Normalwertperiode konnten aufgrund fehlender Daten nicht bestimmt werden. Im Vergleich zu den Monaten Oktober, November, Dezember und Januar der Jahre 2013 bis 2017 in denen eine durchschnittliche Niederschlagshöhe von insgesamt 5,6 mm verzeichnet wurde, kann die Versuchszeit von Oktober 2017 bis Januar 2018 mit einer Niederschlagshöhe von insgesamt 0,9 mm als sehr trocken bezeichnet werden (Abb. 2).

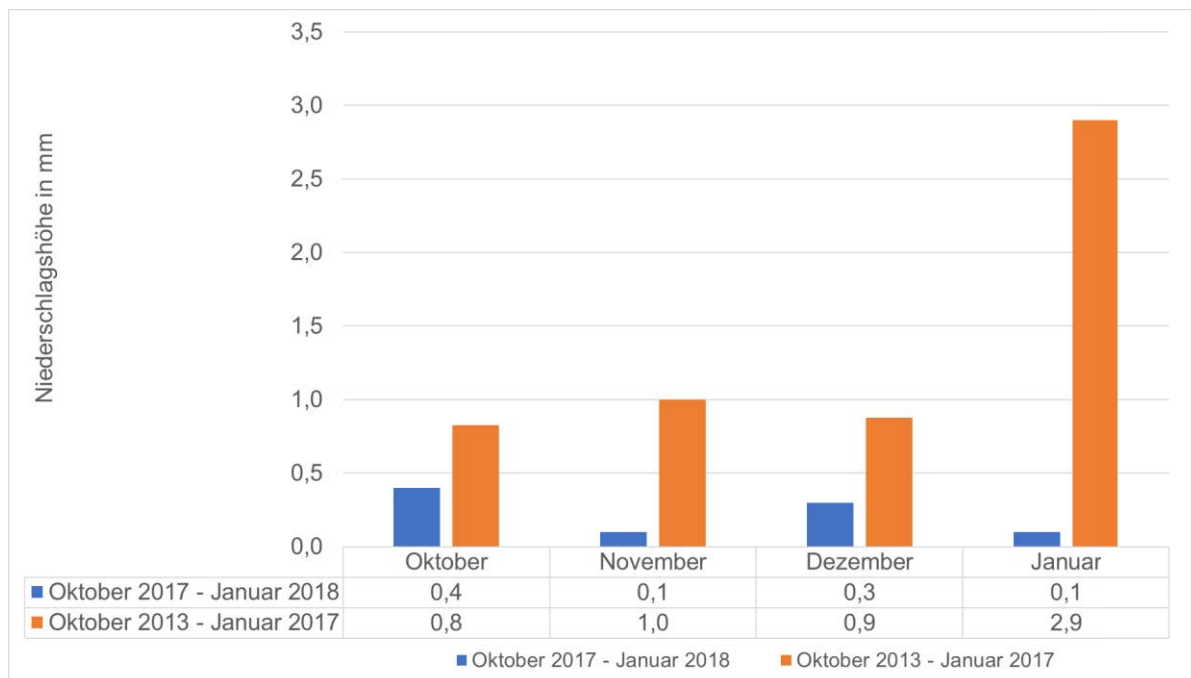


Abbildung 2: Niederschlagsverteilung von den Jahren 2013 bis 2017 (Quelle: SENAMHI PERÚ 2018 b) sowie im Jahr 2017/2018 von Oktober bis Januar in La Molina, Peru

Hinsichtlich der Monatsdurchschnittstemperaturen fiel die Versuchszeit beginnend im Oktober 2017, andauernd bis in den Januar 2018, über alle Monate hinweg kontinuierlich etwa 1 Grad Celsius kälter aus, als die Vergleichsperiode von 2013 bis 2017 (Abb. 3).

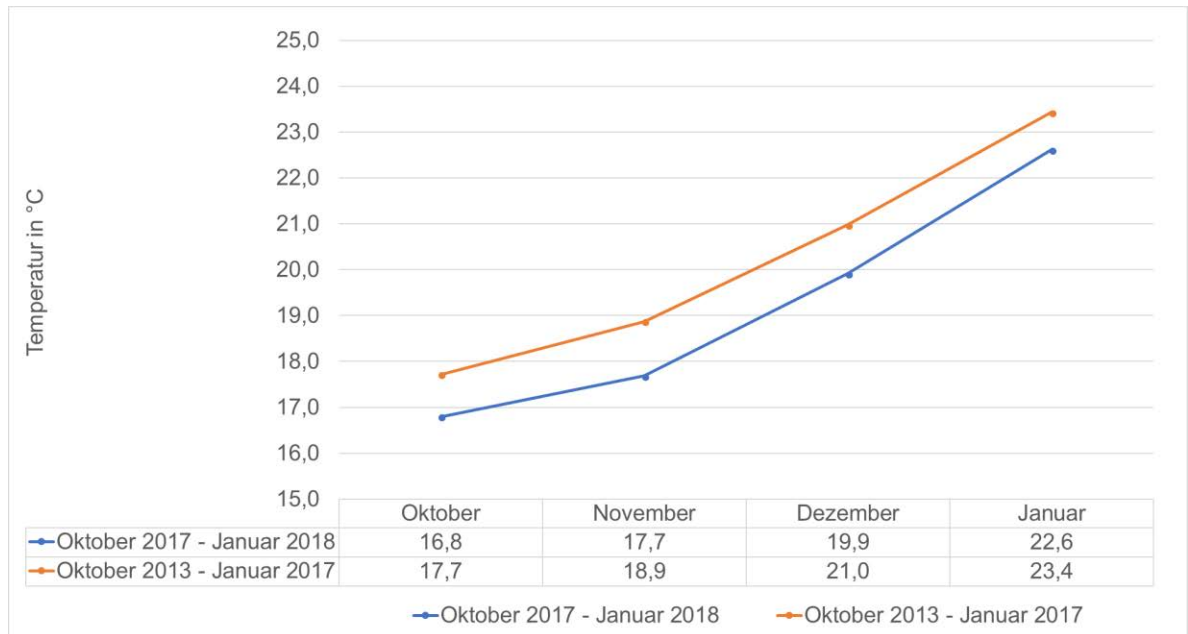


Abbildung 3: Temperaturverlauf der Monatsdurchschnittstemperaturen von den Jahren 2013 bis 2017 (Quelle: SENAMHI 2018 b) sowie im Jahr 2017/2018 von Oktober bis Januar in La Molina, Peru

Zusammenfassend kann die Anbauperiode von Oktober 2017 bis Januar 2018 als sehr niederschlagsarm und relativ kühl, im Vergleich zu den entsprechenden Monaten in den Jahren 2013 bis 2017 beschrieben werden.

3.1.2 Bodenverhältnisse

Am Standort La Molina, welcher der Küstenregion Limas unterzuordnen ist, sind die Referenzbodengruppen Leptosol und Fluvisol vorherrschend (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO 2018). Mit Korngrößenfraktionen des Feinbodens von 56,1 % Sand, 41,7 % Schluff und 2,2 % Ton ist die Bodenart des Versuchsstandortes als ein stark schluffiger Sand („Su4“) einzuordnen (STAHR et al. 2016). Für die Durchführung der Bodenuntersuchung wurde das Versuchsfeld in 84 Quadrate der Maße 6 mal 6 Metern unterteilt, aus denen jeweils eine Bodenprobe (0 bis 10 cm Tiefe) entnommen wurde. In Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Ergebnisse der Bodenprobenanalysen, die etwa fünf Wochen vor der Aussaat am 01.09.2017 entnommen und im Labor der „Universidad Nacional Agraria La Molina“ untersucht wurden, dargestellt.

Tabelle 1: Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Ergebnisse der Bodenprobenanalyse von ausgewählten chemischen Parametern des Bodens von der Versuchsfläche des CIP (¹) in %, ²) in ppm)

Parameter	pH-Wert	OBS ¹⁾	Phosphor ²⁾	Kalium ²⁾	CaCO ₃ ¹⁾
Ø der Untersuchungen	7,59	1,57	44,94	268,31	0,76
Standardabweichung	0,006	0,024	0,802	6,011	0,043

Im Rahmen der Bodenprobenentnahme wurde von 21 zufällig ausgewählten Bodenprobenanalysen die Kationenaustauschkapazität untersucht. Die Analyseergebnisse sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Arithmetische Mittel und Standardabweichungen der Kationenaustauschkapazität des Bodens von der Versuchsfläche des CIP (¹) in cmol⁺ kg⁻¹)

Parameter	Kationenaustauschkapazität ¹⁾	Ca ²⁺ ¹⁾	Mg ²⁺ ¹⁾	K ⁺ ¹⁾	Na ⁺ ¹⁾
Ø der Untersuchungen	10,563	9,206	0,915	0,349	0,093
Standardabweichung	0,144	0,141	0,017	0,006	0,002

Um die unter 3.2.3 Prüffaktor und Prüfglieder beschriebenen Bewässerungsmengen in Versuch A zu bestimmen, war die Kenntnis der maximalen Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens erforderlich. Zudem war für die unter 3.2.4 Prüfmerkmale im Abschnitt Bodenfeuchte beschriebene Berechnung des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens, die Bestimmung der Trockenrohdichte notwendig. Zur Ermittlung dieser Parameter wurden am 13.10.2017 zwei Flächen für Bodenprofile auf der Versuchsfläche angelegt. In Abbildung 4 ist eine der beiden Bodenoberflächen von 1,5 Metern Länge und 1,2 Metern Breite, welche mit 250 Litern Wasser gesättigt und anschließend zum Zweck des Verdunstungsschutzes mit einer schwarzen Plastikplane bedeckt wurde, zu sehen.



Abbildung 4: Am 13.10.2017 mit 250 Litern Wasser gesättigte Bodenoberfläche

Eine Woche später, am 20.10.2017, wurde aus den zwei getrennt angelegten Bodenprofilen aus einer Tiefe von 0 cm, 10 cm und 25 cm unter der Bodenoberfläche mit Stechzylindern feldfeuchter Boden entnommen. Zur Bestimmung des Wassergehaltes des Bodens wurden die Bodenproben über 72 Stunden bei 105 Grad Celsius getrocknet. Die Trockenrohdichte lag bei durchschnittlich $1,63 \text{ g cm}^{-3}$, der gravimetrische Wassergehalt betrug durchschnittlich 20,14 % und der volumetrische Wassergehalt lag bei einem Durchschnitt von 32,78 %.

3.2 Versuchsbeschreibung

Im Nachfolgenden werden die Versuchsanlage, die agronomischen Maßnahmen, der Prüffaktor und die Prüfglieder sowie die Prüfmerkmale von Versuch A (Tröpfchenbewässerung) und Versuch B (Furchenbewässerung) beschrieben.

3.2.1 Versuchsanlage

In Abbildung 5 ist die Versuchsanlage von Versuch A und Versuch B abgetragen.

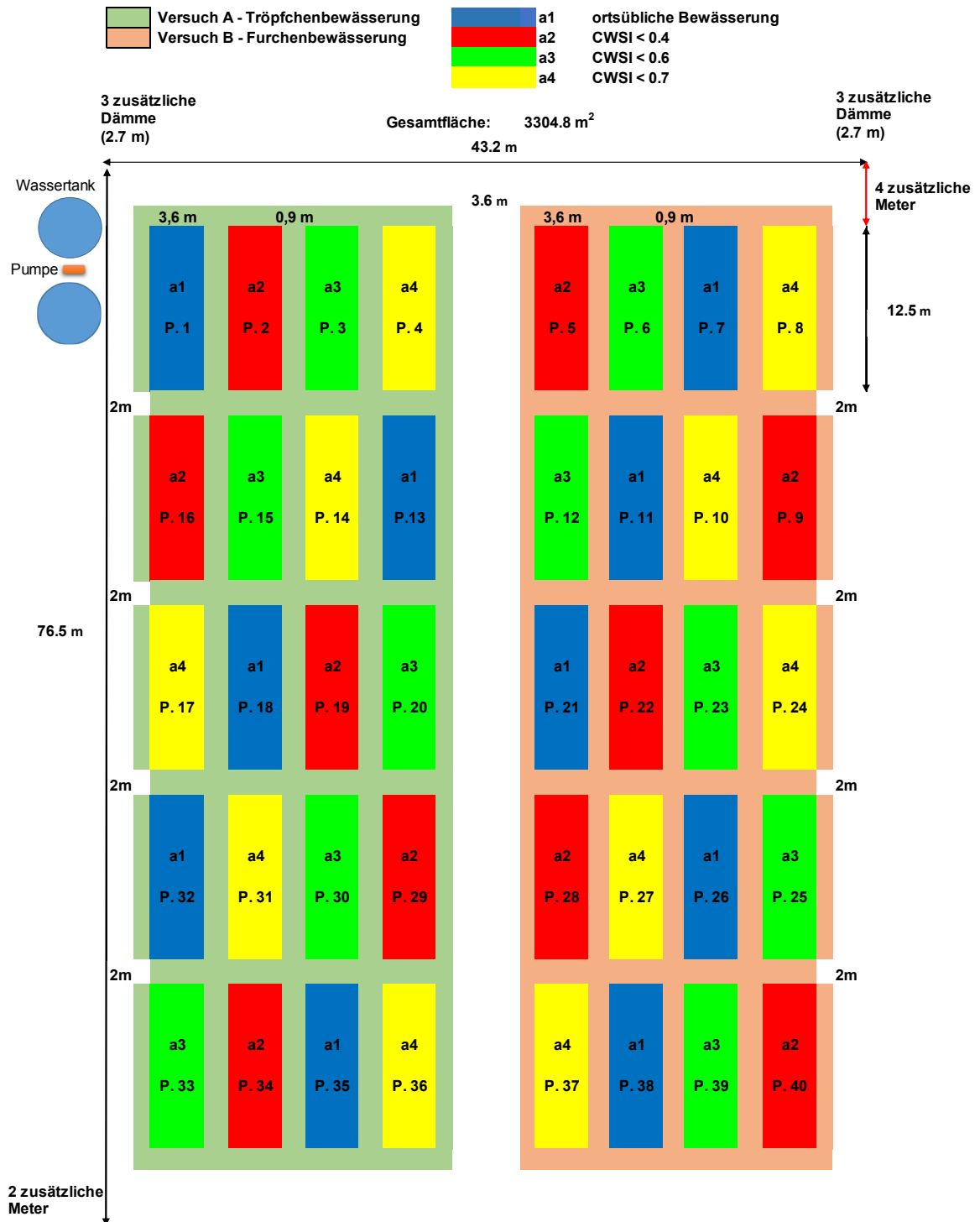


Abbildung 5: Versuchsanlage von „PNIA: 016-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE“ im CIP

Die zwei Versuche wurden auf einer Gesamtfläche von 3304,8 m², welche ein leichtes Gefälle hatte, angelegt. In Abbildung A 1 sind vier von den insgesamt fünf Wiederholungen der Prüfglieder beider Versuche zu sehen. Versuch A und B - mit einem 3,6 Meter breiten Streifen voneinander getrennt - umfassten jeweils 20

Parzellen mit einer jeweiligen Länge von 12,5 Metern und einer Breite von 3,6 Metern. Zwischen jeder Parzelle befand sich ein begehbare Weg mit einer Breite von 0,9 Metern. In beiden Versuchen hatte jedes der vier Prüfglieder eine Wiederholung je Block, woraus sich insgesamt fünf Wiederholungen je Prüfglied je Versuch ergaben. Anliegend an den Versuch A wurden zwei Wassertanks mit einem jeweiligen Fassungsvermögen von 5000 Litern und eine Wasserpumpe positioniert. In Abbildung 6 ist beispielhaft die Unterteilung der Parzellen in sechs Sub-Parzellen dargestellt, deren Nummerierung anfangend bei eins und endend bei sechs stellte die chronologische Abfolge deren Ernten dar. Die Anordnung der einzelnen Sub-Parzellen variiert bei allen Parzellen, da deren Abfolge zufällig gewählt wurde. Die sechs mittleren, durch gelben Hintergrund hervorgehobenen Pflanzen stellen den Boniturplot der Sub-Parzelle dar. Da der Boniturplot stets an derselben Position innerhalb der Sub-Parzelle angelegt war, umfasste dieser immer die mittleren sechs Pflanzen der zwei mittleren Dämme.

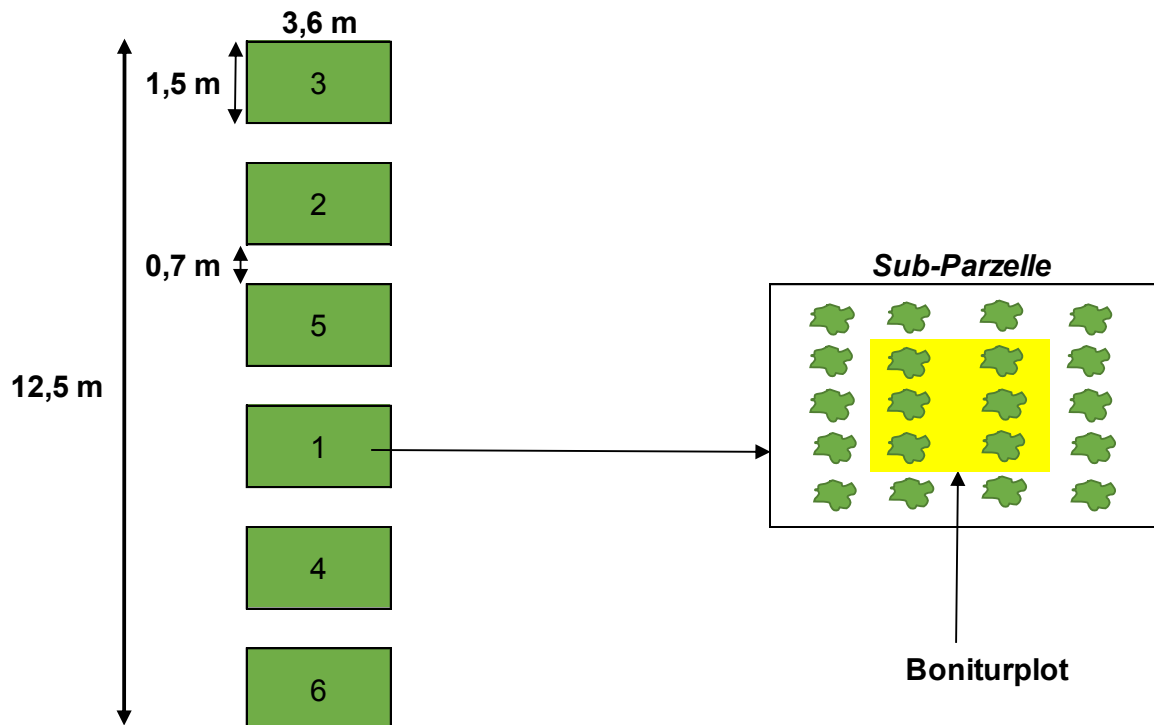


Abbildung 6: Positionierung der Sub-Parzellen und des Boniturplots innerhalb einer Parzelle

3.2.2 Agrotechnische Maßnahmen

Nachfolgend werden die Bodenvorbereitung und Düngung, Sorteneigenschaften, Pflanzung, Ernten und Pflanzenschutzmaßnahmen beschrieben.

Bodenvorbereitung und Düngung

Vor der Pflanzung der Kartoffeln wurde der Boden mit einem Pflug gelockert. Die Vorfrucht war Mais. Die Düngeempfehlung sah eine Zufuhr von 180 kg ha^{-1} Stickstoff, 100 kg ha^{-1} Phosphor, sowie 160 kg ha^{-1} Kalium vor. Am 05.10.2017 wurde nach dem Legen der Kartoffeln mit der Ausbringung von 320 kg ha^{-1} Kaliumsulfat- K_2SO_4 , 160 kg ha^{-1} Ammoniumnitrat- NH_4NO_3 und 208 kg ha^{-1} Diammoniumphosphat- $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ die Gesamtmenge an zu ergänzendem Phosphor und Kalium appliziert. Die Stickstoffdüngung wurde gesplittet, sodass nach dem Legen der Kartoffeln 50 % des zu ergänzenden Stickstoffes gedüngt wurden und im Zuge des ersten Anhäufelns weitere 50 % des zu düngenden Stickstoffes in Form von 273 kg ha^{-1} Ammoniumnitrat appliziert wurden. Angehäufelt wurde am 22. Tag nach der Pflanzung (27.10.2017) und am 29. Tag nach der Pflanzung (03.11.2017). Die Berechnungen des applizierten Düngers erfolgten auf Grundlage der in der Tabelle A 1 angegebenen prozentualen Anteilen von Kalium, Schwefel, Nitrat und Phosphor von den verwendeten Düngemitteln.

Sorte

Die Kartoffelsorte „UNICA“ wurde vom Centro Internacional de la Papa in Kooperation mit der Universidad Nacional „San Luis Gonzaga“ de Ica, nach der die Sorte benannt wurde, im Jahre 1991 entwickelt. Mit 90 bis 110 Vegetationstagen (GUTIÉRREZ-ROSALES et al. 2007) ist sie der Reifegruppe 1, der sehr frühen Sorten, zuzuordnen (DIEPENBROCK et al. 2012). Im Gegensatz zu anderen in Peru viel nachgefragten Kartoffelsorten wie „Canchán“, zeichnet sich UNICA durch einen gleichmäßigen Ertrag unter verschiedenen Standortbedingungen und unabhängig von der Jahreszeit, zu der sie gepflanzt wird, aus. Ihr Ertragspotenzial liegt bei 50 t ha^{-1} , in der Praxis werden jedoch durchschnittlich 40 t ha^{-1} erreicht. „UNICA“ weist eine Resistenz gegen das Potato Virus Y und das Potato Leafroll Virus auf, zudem ist die Sorte resistent gegen das Wurzelgallenälchen (*Meloidogyne spp.*) und

gegen das Bakterium *Ralstonia solanacearum*. Die Kartoffelknollen weisen durchschnittlich einen Trockensubstanzgehalt von 19,06 % auf. Genutzt wird die Kartoffelsorte „UNICA“ in Peru sowie zum direkten Verzehr als auch zur Weiterverarbeitung zu Pommes Frites (GUTIÉRREZ-ROSALES et al. 2007).

Pflanzung

Die vorgekeimten, zertifizierten Kartoffelknollen (Abb. A 2), wurden am 05.10.2017 gelegt. In jeder der 40 Parzellen wurden 120 Kartoffelknollen mit einem Legeabstand von 0,3 Metern und einer Reihenabstand von 0,9 Metern gelegt. Innerhalb der sechs Sub-Parzellen, welche mit einem 0,7 Meter breiten Abstand voneinander angelegt wurden, betrug die Pflanzdichte 3,7 Pflanzen je m².

Ernten

Mit der Absicht, die Entwicklung der Erträge bestmöglich festhalten zu können, wurden im Rahmen beider Versuche über die Vegetationszeit sechs Ernten an den folgenden Tagen vorgenommen: Erste Ernte = 39. Tag nach der Pflanzung, zweite Ernte = 53. Tag nach der Pflanzung, dritte Ernte = 68. Tag nach der Pflanzung, vierte Ernte = 83. Tag nach der Pflanzung, fünfte Ernte = 91. Tag nach der Pflanzung, sechste Ernte = 102. Tag nach der Pflanzung.

Pflanzenschutzmaßnahmen

Zur Schädlingskontrolle wurden auf den Versuchsflächen von Versuch A und B Gelbtafeln aufgestellt. In Tabelle 3 werden die während der Versuchszeit auf der Versuchsfläche applizierten Pflanzenschutzmittel dargestellt. Unter Mittelaufwendung sind die vom Hersteller angegebenen Konzentrationen der Pflanzenschutzmittel angegeben. Die acht vorgenommenen Pflanzenschutzmittelanwendungen werden zur zeitlichen Einordnung in Tage nach der Pflanzung sortiert. Die applizierten Präparate an den jeweiligen Tagen sind mit einem Kreuz gekennzeichnet.

Tabelle 3: Aufwendungen an Pflanzenschutzmitteln, Anwendungszeitpunkt und deren Mittelaufwand (¹) Liter je 200 Liter Wasser, ²) kg je 200 Liter Wasser, ³) kg ha⁻¹)

Präparat	Mittelaufwand	Tage nach der Pflanzung							
		0	21	30	36	50	56	63	75
Aceite Agricola	1 ¹⁾			x			x		x
Confidor® 350 SC	0,15 ¹⁾		x						
Enziprom®	0,5 ¹⁾		x		x			x	
Evisect® 50 SP	0,25 ²⁾		x			x			
Farmate	0,25 ²⁾	x							
Kieto 150 WG	0,1 ²⁾					x			
Movento 15 OD	0,25 ¹⁾			x			x		x
Sorba 50 EC	0,15 ¹⁾				x	x			
Proton Herbal Bio Pesticides	0,6 ¹⁾								
Tenaz® 250 EW	0,2 ¹⁾	x							
Trigard® 75 WP	0,07 ²⁾			x			x		x
Vertimec 18 CE	0,3 ¹⁾		x		x				
Rugby 10G	15 ³⁾	x							

Als Saatgutbehandlung wurden am Tag der Pflanzung 8 kg Rugby 10G, 60 ml Tenaz® 250 EW und 80 g Farmate ausgebracht. An den folgenden vier Pflanzenschutzmittelanwendungen wurde jeweils eine Tankmischung von 100 Litern aufgewandt. Am 56. und 63. Tag nach der Pflanzung wurde eine Tankmischung von 133 Litern verabreicht, am 75. Tag wurde die volle Tankmischung von 200 Litern verabreicht. Alle oben genannten Mittelaufwendungen beziehen sich auf die gesamte Versuchsfläche, welche sowohl Versuch A als auch Versuch B umfasst. In Tabelle A 2 werden alle während des Versuches angewendeten Pflanzenschutzmittel, deren enthaltenen Wirkstoffe, die jeweilige Klassifikation und die entsprechenden Zielorganismen dargestellt.

3.2.3 Prüffaktor und Prüfglieder

Grundsätzlich wird die vorliegende Arbeit in Versuch A und Versuch B unterteilt, die sich in deren Bewässerungssystemen - Tröpfchenbewässerung und Furchenbewässerung - unterschieden. Versuch A und Versuch B waren einfaktorielle Versuche, der Prüffaktor war in beiden Versuchen die Bewässerung, welche sich in vier Prüfglieder (a1, a2, a3, a4) unterteilte. An dem 1., 8., 12., 19. und 25. Tag nach der Pflanzung wurden beide Versuche mit der Furchenbewässerung mit einer Gesamtmenge von $1781 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Wasser bewässert. Ab dem 34. Tag nach der Pflanzung (08.11.2017) war es vorgesehen, die vier Prüfglieder beider Versuche gemäß ihren unterschiedlichen Bewässerungsintervallen und Bewässerungssystemen zu bewässern.

Versuch A

In Versuch A wurde mit der Tröpfchenbewässerung nach dem Dammkronenverfahren bewässert. Die Absicht war es, die richtige Menge an Wasser einzusetzen, sodass weder unnötig hohe Mengen an Wasser bewässert werden, noch Ertragsverluste aufgrund von zu gering eingesetztem Wasser entstehen. Anhand der Feldkapazität und den vor Bewässerungen gemessenen volumetrischen Wassergehalt, wurde in Versuch A die zu bewässernde Menge Wasser, wie in folgender Formel dargestellt, errechnet.

$$\text{Zu bewässernde Menge Wasser in Liter je Damm} = \frac{(\theta_{\text{vol}}^{1}) - \theta_{\text{vol}}^{2}) \times (\text{Dammlänge} \times \text{Wurzeltiefe} \times \text{Dammkrone})}{100} \times 1000$$

Bemerkungen: ¹⁾ Ermittelte Feldkapazität (20.10. 2017)

²⁾ Volumetrischer Wassergehalt des Bodens in %

Während die Dammlänge mit 12,5 Metern und die Dammkrone, welche im Zuge des zweiten Anhäufelns auf eine Breite von 40 cm angeglichen wurde, feste Größen waren, wurde die Wurzeltiefe im Verlauf des Versuches von 20 cm bis auf 30 cm angepasst. Die für die Tröpfchenbewässerung verwendeten 12,5 Meter langen Schläuche waren alle 20 Zentimeter zum Entweichen des Wassers perforiert und

wurden beidseitig an der Kartoffelpflanze vorbeiführend ausgebracht (Abb. 7). Mithilfe von Manometern wurde das in die Schläuche strömende Wasser kontrolliert.



Abbildung 7: Positionierung der Schläuche auf der Dammkrone in Prüfglied a3 am 75. Tag nach der Pflanzung (19.12.2017)

Zur Bestimmung der Wasserzufuhr durch die Tröpfchenbewässerung wurden in fünf verschiedenen Parzellen, mit zweimaliger Wiederholung, die durchschnittliche Menge an Wasser, die bei einem vom Manometer angezeigten Druck von 0,4 bar aus einem Loch je Zeiteinheit kommt, ermittelt. Je Stunde gab jedes Loch durchschnittlich 1,69 Liter Wasser ab, bei 2 Schläuchen je Dammkrone mit insgesamt 126 Löchern, entspricht das einer Wasserzufuhr von 3,55 Litern je Minute je Dammkrone. Unter Beibehaltung des vom Manometer angezeigten Drucks von 0,4 bar, wurde bei Versuch A die benötigte Zeit, um den volumetrischen Wassergehalt im Boden auf die Feldkapazität anzugleichen, wie folgt errechnet:

$$\text{Minuten der Bewässerung} = \frac{\text{Zu bewässernde Menge Wasser je Dammkrone}}{\text{Wasserzufuhr je Dammkrone pro Minute}}$$

Versuch B

In Versuch B erfolgte der Wassereinsatz über die Furchenbewässerung (Abb. 8). Wasser wurde so lange in die Furchen einströmen lassen, bis sich der Wasserspiegel innerhalb der Furchen der Parzelle auf eine einheitliche Höhe einstellte. Die bewässerte Menge wurde aus dem Wasser in Litern, welches je Zeiteinheit aus der Wasserpumpe strömte und der Zeit, die das Wasser in die Furchen einer Parzelle strömte, ermittelt.



Abbildung 8: Furchenbewässerung im Versuch B, Parzelle 21, Prüfglied a1 am 35. Tag nach der Pflanzung (09.11.2017)

3.2.4 Prüfmerkmale

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurden unterschiedliche Prüfmerkmale erfasst, die hierfür verwendeten Methoden sollen nachfolgend kurz beschrieben werden.

Crop Water Stress Index

Die Bewässerungsentscheidungen wurden in beiden Versuchen basierend auf den Schwellenwerten des Crop Water Stress Index (CWSI) getroffen.

Folgende Formel wurde zur Ermittlung des Crop Water Stress Index verwendet:

$$\text{CWSI} = \frac{T_{\text{Blatt}} - T_{\text{Nass}}}{T_{\text{Trocken}} - T_{\text{Nass}}}$$

In der Formel stellt T_{Blatt} die durchschnittliche Blatttemperatur der sechs im Boniturplot befindlichen Pflanzen dar. T_{nass} ist die Temperatur von einem im Wasser schwimmenden, mit einem feuchten Mikrofasertuch bedeckten Styropor und stellt transpirierende Blätter mit offenen Stomata dar. T_{Trocken} repräsentiert die Temperatur von nicht transpirierenden Blättern mit geschlossenen Stomata. Bei den gegebenen Bedingungen vor Ort erwärmte sich die Blatttemperatur nicht transpirierender Blätter maximal 13 Grad Celsius über der Lufttemperatur. Dementsprechend wird zur Berechnung von T_{Trocken} der Lufttemperatur 13 Grad Celsius addiert. Zur Ermittlung von den 13 Grad Celsius die sich nicht transpirierende Blätter über die Lufttemperatur erwärmen, wurde in einem Experiment die Transpiration von Blättern durch das Einreiben mit der Creme „Petroleum Jelly“ gestoppt. Der oben beschriebene Ansatz zur Berechnung des CWSI entspricht der von JONES 2014 beschriebenen Methodik.

Während das Prüfglied a1 den ortsüblichen Bewässerungsintervallen unterlag und teils bereits ab einem CWSI von 0,3 bewässert wurde, waren die Schwellenwerte zur Bewässerung folgende: Prüfglied a2 = CWSI 0,4, Prüfglied a3 = CWSI 0,6 und Prüfglied a4 = CWSI 0,7. Die Berechnung des CWSI erfolgte über den durchschnittlich gemessenen Wert aller 5 Wiederholungen des jeweiligen Prüfgliedes. Ab dem 34. Tag nach der Pflanzung (08.11.2017) wurde begonnen den CWSI in den Boniturplots der 40 Parzellen zu messen, die letzte Messung erfolgte

am 90. Tag nach der Pflanzung (03.01.2018). Insgesamt wurde an 32 Tagen der CWSI der Boniturplots gemessen. In der Abbildung 9 ist zu sehen, wie die Thermographie mit einer Infrarotbildkamera von einem Boniturplot gemacht wurde. Zum Erreichen eines Bildbereiches, der den gesamten Boniturplot von sechs Pflanzen umfasst, wurde die Thermographie von einer Leiter mit einer Entfernung von vier Metern zum Boniturplot gemacht, mit der Blickrichtung nach Westen.



Abbildung 9: Aufnahme eines Infrarotfotos von dem Boniturplot der Parzelle 29 Prüfglied a2 am 74. Tag nach der Pflanzung (18.12.2017)

In der Abbildung 10 ist eine Thermographie vom Boniturplot der Parzelle Nummer 17, Prüfglied a4, am 46. Tag nach der Pflanzung (20.11.2017) zu sehen. Im rechten Bildrand wird angegeben, in welcher Farbe die verschiedenen Temperaturen der Blätter, der Referenzoberfläche und des Bodens wiedergegeben werden. Die in der linken oberen Ecke angezeigte Temperatur bezieht sich auf die registrierte Temperatur, von dem in der Mitte des Bildes erscheinenden weißen Punkt. Das mittig im Boniturplot dunkel zu sehende Rechteck ist das im Wasser schwimmende mit einem feuchten Mikrofaser Tuch überzogene Styropor (Referenzoberfläche),

welches aufgrund der verhältnismäßig kalten Temperatur in sehr dunkler Farbe erscheint.

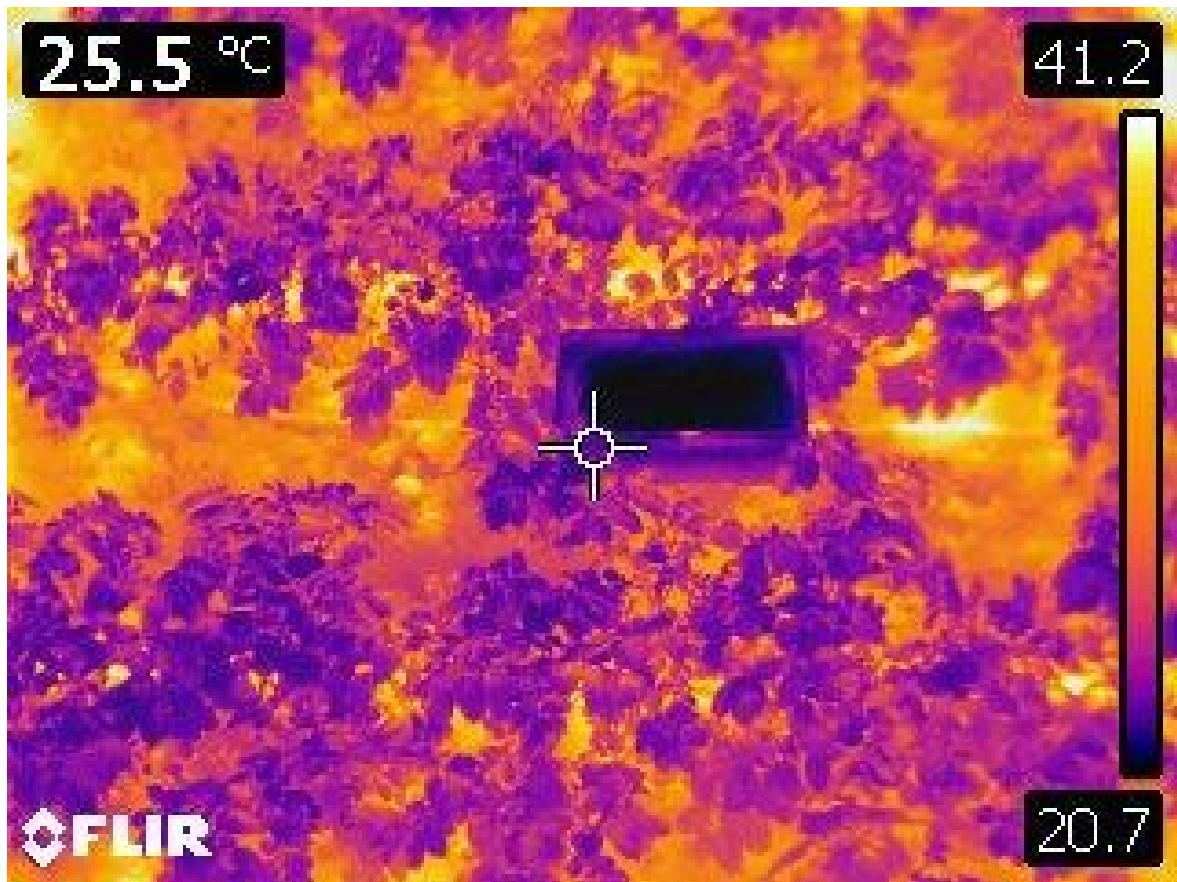


Abbildung 10: Thermographie von Prüfglied a4 im Versuch A, 46. Tag nach der Pflanzung (20.11.2017)

Damit die Varianz von meteorologischen Einflüssen möglichst minimal blieb, wurden die Thermographien in beiden Bewässerungsversuchen immer von 13:30 Uhr bis 15:00 Uhr durchgeführt, denn, wie von JONES 1999 beschrieben, können die Messergebnisse des CWSI durch die Windgeschwindigkeit, die Globalstrahlung und dem Sättigungsdefizit beeinflusst werden.

Für die Berechnung des CWSI wurde zudem das Programm FLIR Tools, womit die Temperatur der Referenzoberfläche bestimmt wurde, als auch das Programm MATLAB 7.12, welches den Einfluss der Bodentemperatur herausgefilterte und die durchschnittliche Blatttemperatur ermittelte, sowie der Wetterstation „HOBO U12 Outdoor“, die im 5-Minuten Takt die aktuellen Wetterdaten registrierte, verwendet. Für die Thermographie wurde die Infrarotkamera mit einem einheitlichen

Emissionsgrad von 0,96 eingestellt, die reflektierte Temperatur, Lufttemperatur und Luftfeuchte wurden vor jeder Messung neu an die herrschenden atmosphärischen Bedingungen angepasst. Die Thermographie wurde täglich durchgeführt, lediglich an Tagen mit starker Bewölkung konnten keine Fotos gemacht werden.

Bodenfeuchte

Während basierend auf dem CWSI der Zeitpunkt der Bewässerung bestimmt wurde, wurde in Versuch A anhand der Bodenfeuchte die Bewässerungsmenge bestimmt. Aussagen über die Bodenfeuchte wurden mit dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens gemacht. Der volumetrische Wassergehalt des Bodens wurde über Bodenproben, die mit einem Pürckhauer von der Dammkrone entnommen wurden, ermittelt. Die Tiefe der entnommenen Bodenproben wurde an das Wurzelwachstum der Kartoffel angepasst, sie betrug vom 08.11. 2017 bis zum 16.11.2017 20 cm, vom 17.11.2017 bis zum 21.11. 2017 25 cm, ab dem 26.11. 2017 wurde sie auf eine Tiefe von 30 cm eingestellt. Unmittelbar nach der Entnahme wurden die Bodenproben gewogen und danach in einer Mikrowelle getrocknet und erneut gewogen, um anschließend den gravimetrischen Wassergehalt und den volumetrischen Wassergehalt zu ermitteln. Die dafür verwendeten Formeln lauteten:

$$\text{Gravimetrischer Wassergehalt in \%} = \frac{\text{Boden}_{\text{feucht}}^{1)} - \text{Boden}_{\text{trocken}}^{2)}}{\text{Boden}_{\text{trocken}}^{2)}} \times 100$$

Bemerkung: ¹⁾ frisch entnommener Boden in g

²⁾ getrockneter Boden in g

$$\text{Volumetrischer Wassergehalt in \%} = \text{Trockenrohdichte in g cm}^{-3} \times \theta_{\text{grav in \%}}^{1)}$$

Bemerkung: ¹⁾ gravimetrischer Wassergehalt in %

Blattbedeckungsgrad

Vom 18. Tag nach der Pflanzung (23.10.2017) bis zum 92. Tag nach der Pflanzung (05.01.2018), wurde über die Zeit von zwölf Wochen der Blattbedeckungsgrad wöchentlich ermittelt. Mit einer Spiegelreflexkamera wurden von einem Boniturplot jeder Parzelle Fotos gemacht. Hierfür wurde die Kamera vertikal, in einer Höhe von 80 cm über der durchschnittlichen Blatthöhe gehalten. Es wurde darauf geachtet, dass weder Unkraut noch Schatten auf dem zu fotografierenden Bildbereich

vorkommt, da hierdurch die Ergebnisse des Blattbedeckungsgrades verfälscht worden wären. Basierend auf dem prozentualen Anteil der von der Pflanze eingenommenen Bodenoberfläche, wurde der Blattbedeckungsgrad mit dem Programm „Software to estimate the percentage of canopy cover“ ermittelt.

Erträge

Während alle anderen Messdaten Durchschnittswerte der fünf Wiederholungen jedes Prüfgliedes sind, beziehen sich die Ertragsangaben lediglich auf die ersten vier Wiederholungen des Versuches, umfassen dementsprechend also Parzelle 1 bis Parzelle 32. In allen Zwischenernten wurden vier von den sechs im Boniturplot jeder Parzelle vorhandenen Pflanzen geerntet um die Frischmasseerträge zu bestimmen. In der letzten Ernte wurden zudem die Trockensubstanzgehalte, Trockenmasseerträge und die Knollengrößenverteilung bestimmt. Um den Trockensubstanzgehalt und den Trockenmasseertrag in der sechsten Ernte zu ermitteln, wurden von jedem Prüfglied Knollenproben gewogen und anschließend in einem Ofen bei 60 Grad Celsius über 5 Tage auf 0 % Wassergehalt getrocknet. In der letzten Ernte wurden zusätzlich die Kartoffelknollen entsprechend ihres Durchmessers in sechs Größenkategorien unterteilt. Knollen, deren Durchmesser unter 10 mm lag, wurden in den Angaben der Knollengrößenzusammensetzung sowie der Gesamtanzahl an Knollen nicht beachtet.

4 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse aus Versuch A und Versuch B dargestellt.

4.1 Crop Water Stress Index

In Abbildung 11 werden die durchschnittlichen Messwerte des CWSI der vier Prüfglieder an den verschiedenen Tagen, sowie der Zeitpunkt und die durchschnittliche Höhe der Wassereinsätze von Versuch A, in Abbildung 12 von Versuch B dargestellt.

4.1.1 Versuch A

Generell wirkten sich die Bewässerungen auf einen Abfall des CWSI aus. Folglich wurden, im am häufigsten bewässerten Prüfglied a1, die niedrigsten und im am wenigsten bewässerten Prüfglied a4, die höchsten Werte des CWSI gemessen. Der CWSI stieg nach einem ausbleibenden Wassereinsatz im Prüfglied a4 auf bis zu 0,72 an, in Folge einer Bewässerung fiel der CWSI im Prüfglied a1 bis auf 0,24 ab. Die höchste Bewässerungsmenge betrug $254 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Wasser und wurde im Prüfglied a4 am 71. Tag nach der Pflanzung eingesetzt, der CWSI fiel daraufhin innerhalb von 3 Tagen von 0,72 auf 0,52 ab (Abb.11).

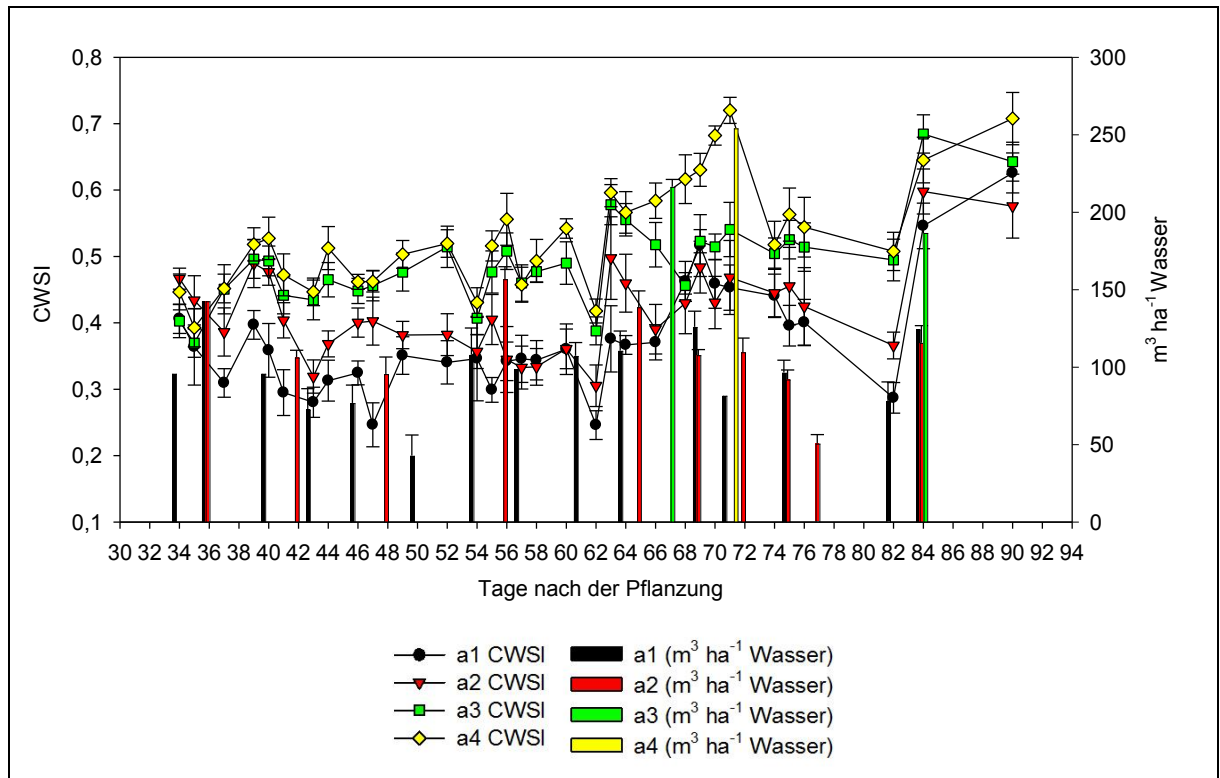


Abbildung 11: Messwerte des CWSI in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung in Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung

4.1.2 Versuch B

Der Verlauf des CWSI in den einzelnen Prüfgliedern, als auch die Auswirkungen von Bewässerungen auf den CWSI, waren ähnlich wie in Versuch A, jedoch war der durchschnittlich gemessene CWSI in den Prüfgliedern des Versuches B geringer als in den Prüfgliedern des Versuches A. Die Schwellenwerte des CWSI zur Bewässerung wurden in den Prüfgliedern a1 und a2 deutlich weniger oft im Vergleich zu Versuch A erreicht. Die Folge waren weniger Bewässerungsintervalle, die eingesetzten Wassermengen hingegen waren in der Regel mehr als doppelt so hoch. Nach einem ausbleibenden Wassereinsatz im Prüfglied a4 stieg der CWSI am 69. Tag nach der Pflanzung auf einen Wert von 0,67 und fiel in Prüfglied a1 am 62. Tag nach der Pflanzung auf bis zu 0,17 ab (Abb. 12).

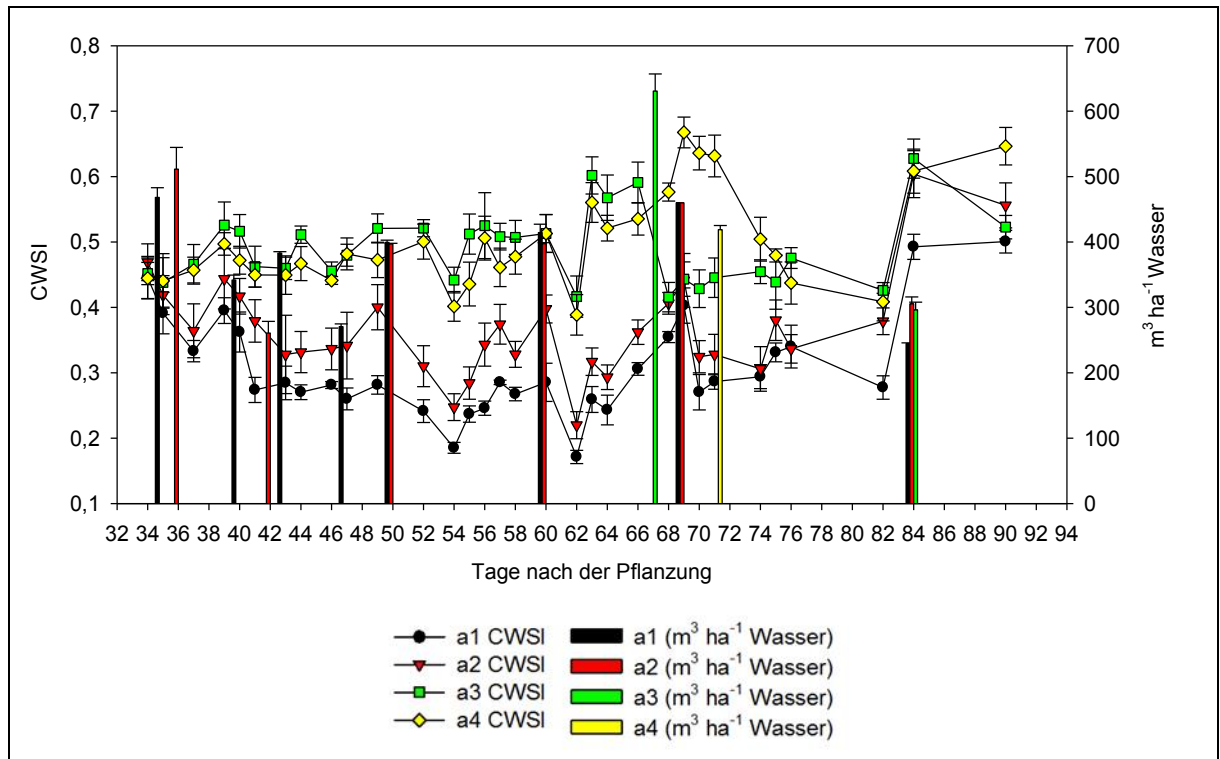


Abbildung 12: Messwerte des CWSI in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung in Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung

4.2 Beziehung zwischen dem CWSI und dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens

In Abbildung 13 ist die Beziehung der vom 34. Tag nach der Pflanzung, bis zum 90. Tag nach der Pflanzung erhobenen Messdaten des volumetrischen Wassergehalt des Bodens und des CWSI von Versuch A und B abgetragen. Der Zusammenhang zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI ist mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,61 in Versuch A und -0,70 in Versuch B beschreibbar. Damit soll ausgedrückt werden, dass bei einer Verringerung des volumetrischen Wassergehalt des Bodens höhere Werte beim CWSI gemessen wurden.

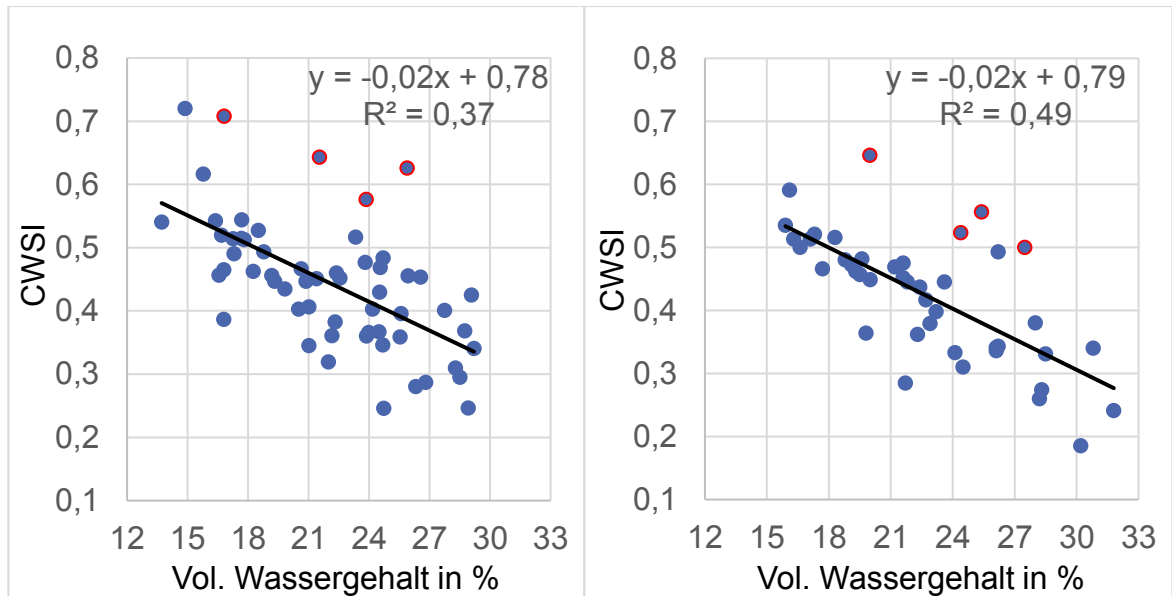


Abbildung 13: Beziehung zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI, die Messergebnisse von Versuch A sind in der linken Graphik, die von Versuch B in der rechten Graphik abgetragen

4.3 Blattbedeckungsgrad

In Abbildung 14 sind die durchschnittlichen prozentualen Blattbedeckungsgrade der einzelnen Prüfglieder während der unterschiedlichen Phasen der Vegetation von Versuch A, in Abbildung 15 von Versuch B dargestellt.

4.3.1 Versuch A

Ab dem 49. Tag nach der Pflanzung wiesen die Prüfglieder a1 und a2 einen signifikant höheren Blattbedeckungsgrad als das Prüfglied a4 auf. Der Blattbedeckungsgrad von Prüfglied a1 unterschied sich über alle nachfolgenden Messungen signifikant von a4. Das Prüfglied a2 wies ab dem 49. Tag nach der Pflanzung kontinuierlich tendenziell höhere Blattbedeckungsgrade als die Prüfglieder a3 und a4 auf, jedoch konnten signifikante Unterschiede im Blattbedeckungsgrad zu Prüfglied a3 und a4 nicht so häufig wie beim Prüfglied a1 nachgewiesen werden. Der Blattbedeckungsgrad im Prüfglied a3 unterschied sich in keinem Moment signifikant vom dem im Prüfglied a4.

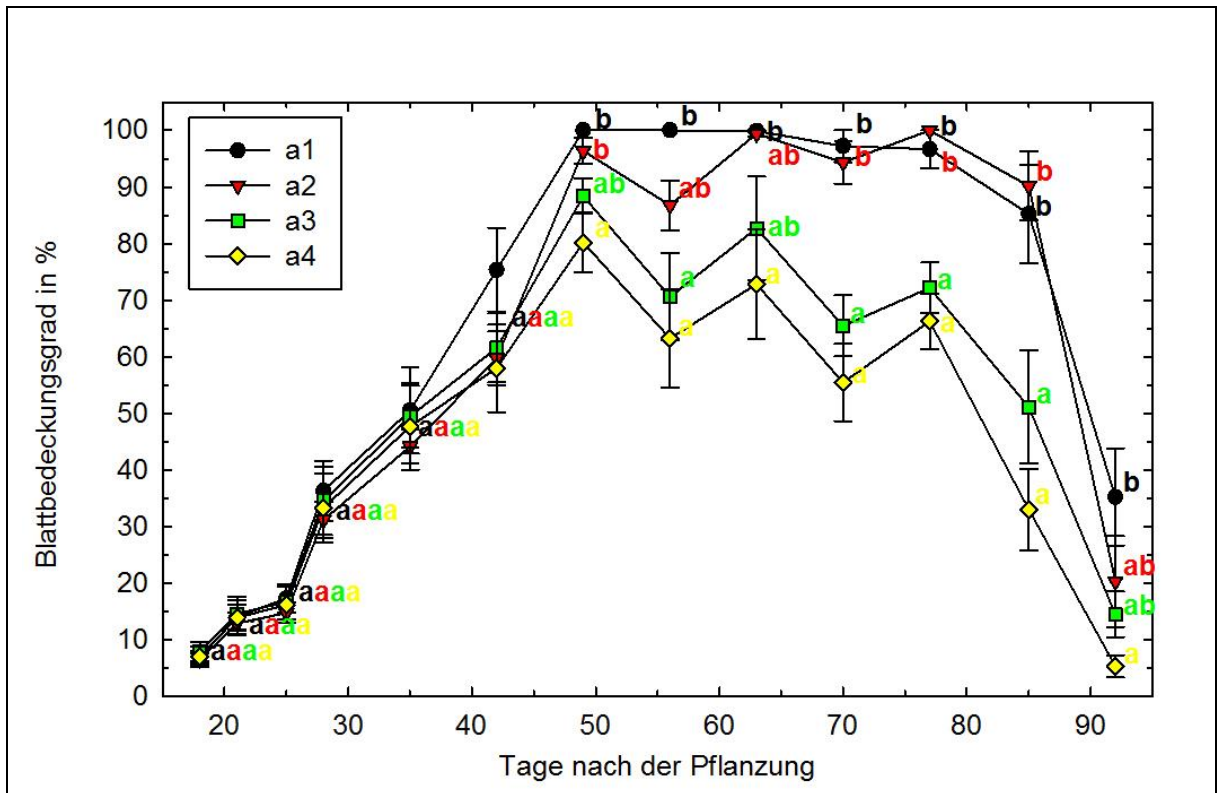


Abbildung 14: Verlauf der prozentualen Blattbedeckungsgrade in Versuch A;
 Fehlerbalken = Standardabweichung;
 Unterschiedliche Buchstaben an dem selben Tag nach der Pflanzung
 kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.3.2 Versuch B

Ab dem 49. Tag nach der Pflanzung war der Blattbedeckungsgrad in Prüfglied a1 signifikant höher als im Prüfglied a4, ab dem 56. Tag nach der Pflanzung konnten signifikante Unterschiede der Blattbedeckungsgrade des Prüfgliedes a1 zu den Blattbedeckungsgraden der Prüfglieder a3 und a4 nachgewiesen werden. Die Differenzen im Blattbedeckungsgrad vom Prüfglied a2 zu den Prüfgliedern a3 und a4, sowie von Prüfglied a3 zu Prüfglied a4, waren ähnlich wie in dem Versuch A.

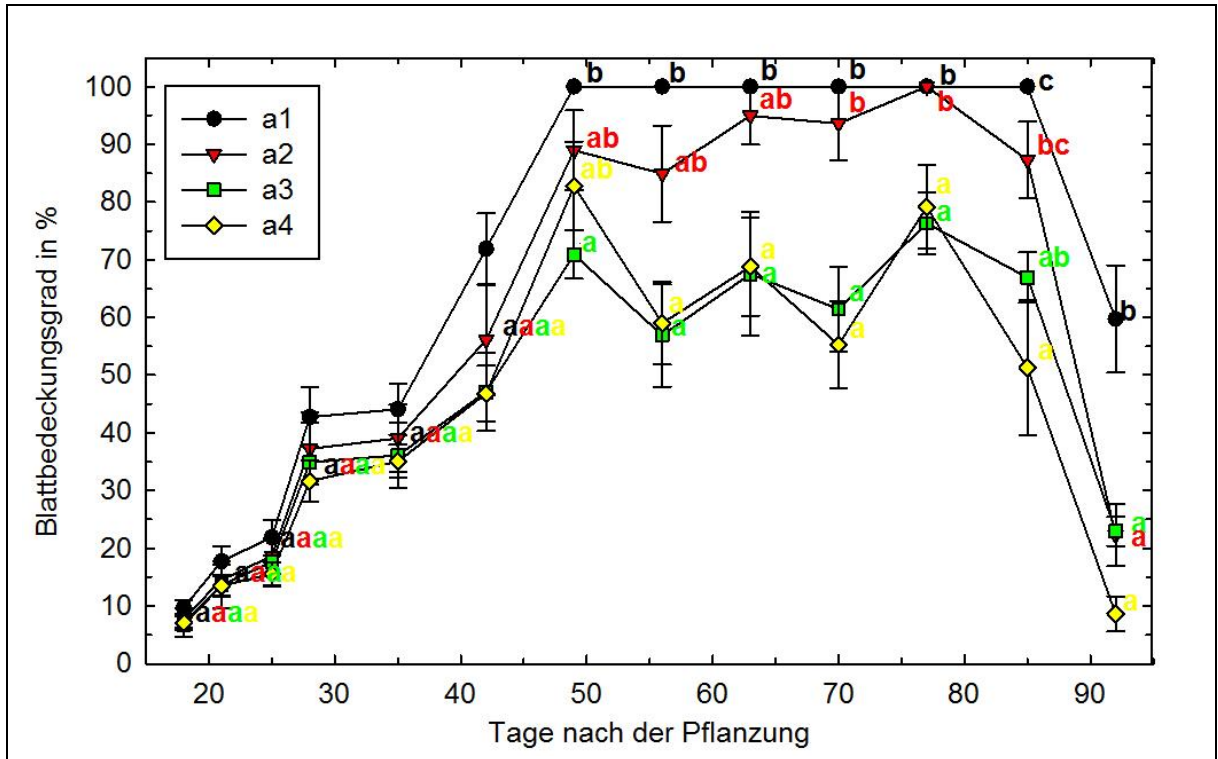


Abbildung 15: Verlauf der prozentualen Blattbedeckungsgrade in Versuch B;
 Fehlerbalken = Standardabweichung;
 Unterschiedliche Buchstaben an dem selben Tag nach der Pflanzung
 kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.4 Erträge

In Abbildung 16 sind die durchschnittlichen Frischmasseerträge, sowie die durchschnittlichen Höhen der Wassereinsätze in den jeweiligen Prüfgliedern zu den sechs Ernteterminen von Versuch A, in Abbildung 17 von Versuch B abgetragen.

4.4.1 Versuch A

In Prüfglied a1 wurden ab dem 68. Tag nach der Pflanzung bis zum 102. Tag nach der Pflanzung, signifikant höhere Erträge als in den Prüfgliedern a3 und a4 registriert. Zwischen den Prüfgliedern a1 und a2, als auch zwischen den Prüfgliedern a3 und a4, wurden in keiner Ernte signifikante Unterschiede im Ertrag nachgewiesen. Die insgesamt eingesetzten Wassermengen waren im Prüfglied a1 am höchsten, im Prüfglied a4 am geringsten.

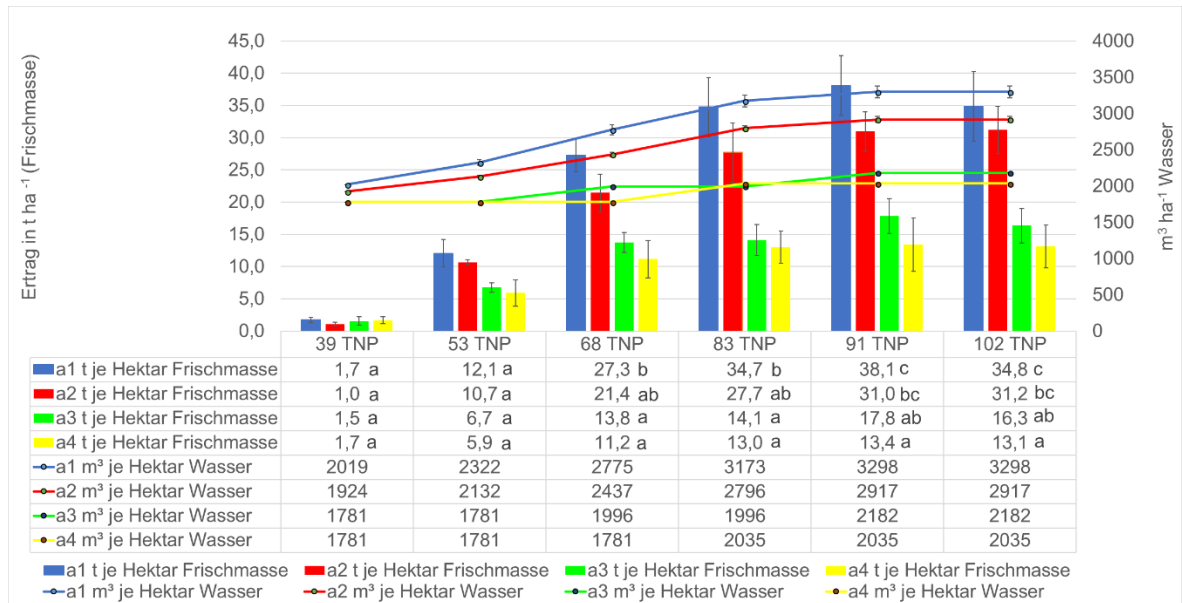


Abbildung 16: Knollenerträge zu den sechs Ernteterminen in t ha⁻¹ Frischmasse, sowie m³ ha⁻¹ Wasser, das bis zu den jeweiligen Ernteterminen in den Prüfgliedern in Versuch A eingesetzt wurde; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test P ≤ 0,05)

4.4.2 Versuch B

Wie auch in Versuch A, wies ab dem 68. Tag nach der Pflanzung das Prüfglied a1 signifikant höhere Erträge als die Prüfglieder a3 und a4 auf, ab dem 83. Tag nach der Pflanzung waren auch die Erträge des Prüfgliedes a2 signifikant höher als die der Prüfglieder a3 und a4. Der Wassereinsatz wurde über die gesamte Versuchszeit hinweg, von Prüfglied a1 auf Prüfglied a4 nahezu um 54 % reduziert.

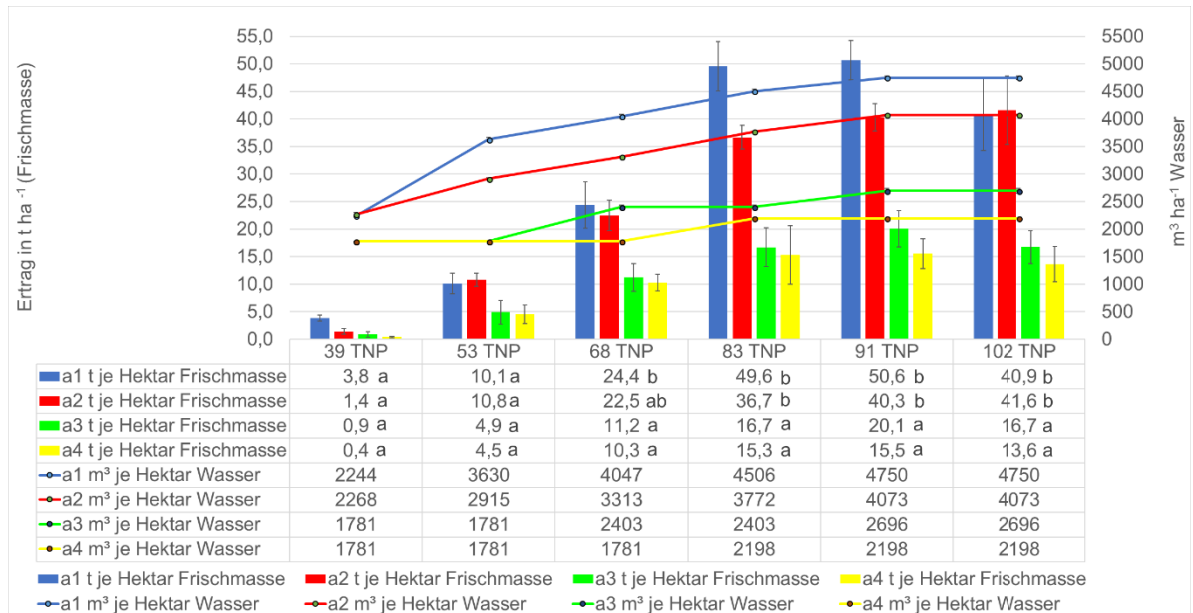


Abbildung 17: Knollenerträge zu den sechs Ernteterminen in t ha⁻¹ Frischmasse, sowie m³ ha⁻¹ Wasser, das bis zu den jeweiligen Ernteterminen in den Prüfgliedern in Versuch B eingesetzt wurde; Fehlerbalken = Standardabweichung; Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test P ≤ 0,05)

4.5 Beziehung zwischen dem Endertrag und dem CWSI

Um den Einfluss der unterschiedlichen Werte des CWSI auf den Ertrag besser einschätzen zu können, sind in Abbildung 18 die Beziehungen zwischen dem durchschnittlich gemessenen CWSI und dem Ertrag der Prüfglieder von Versuch A und B in der sechsten Ernte dargestellt. Erkennbar ist, dass bei einem niedrigen CWSI hohe Erträge zu erwarten sind, eine Korrelation dieser Parameter kann in Versuch A mit -0,99 und in Versuch B mit -0,96 beschrieben werden. Damit soll ausgedrückt werden, dass in den Prüfgliedern mit höheren Erträgen in der sechsten Ernte über den gesamten Verlauf des Versuches durchschnittlich niedrigere Werte des CWSI gemessen wurden. Wurde ab dem Schwellenwert des CWSI von 0,6 bewässert - wie im Prüfglied a3 der Fall - kam es in den Erträgen der sechsten Ernte im Rahmen von Versuch A und Versuch B zu einer signifikanten Ertragsminderung im Vergleich zu den Prüfgliedern a1 und a2 (Abb.16; Abb. 17). Im Rahmen des Versuches B war der Wassereinsatz im Prüfglied a2 mit einem Schwellenwert des

CWSI von 0,4 zur Bewässerung als besonders geeignet, um hohe Erträge in der sechsten Ernte zu erzielen.

In Versuch A hingegen, unterlagen die Erträge von Prüfglied a2, in denen als Schwellenwert zur Bewässerung der CWSI von 0,4 verwendet wurde, denen des Prüfgliedes a1 mit ortsüblichen Bewässerungsintervallen (Abb. 18).

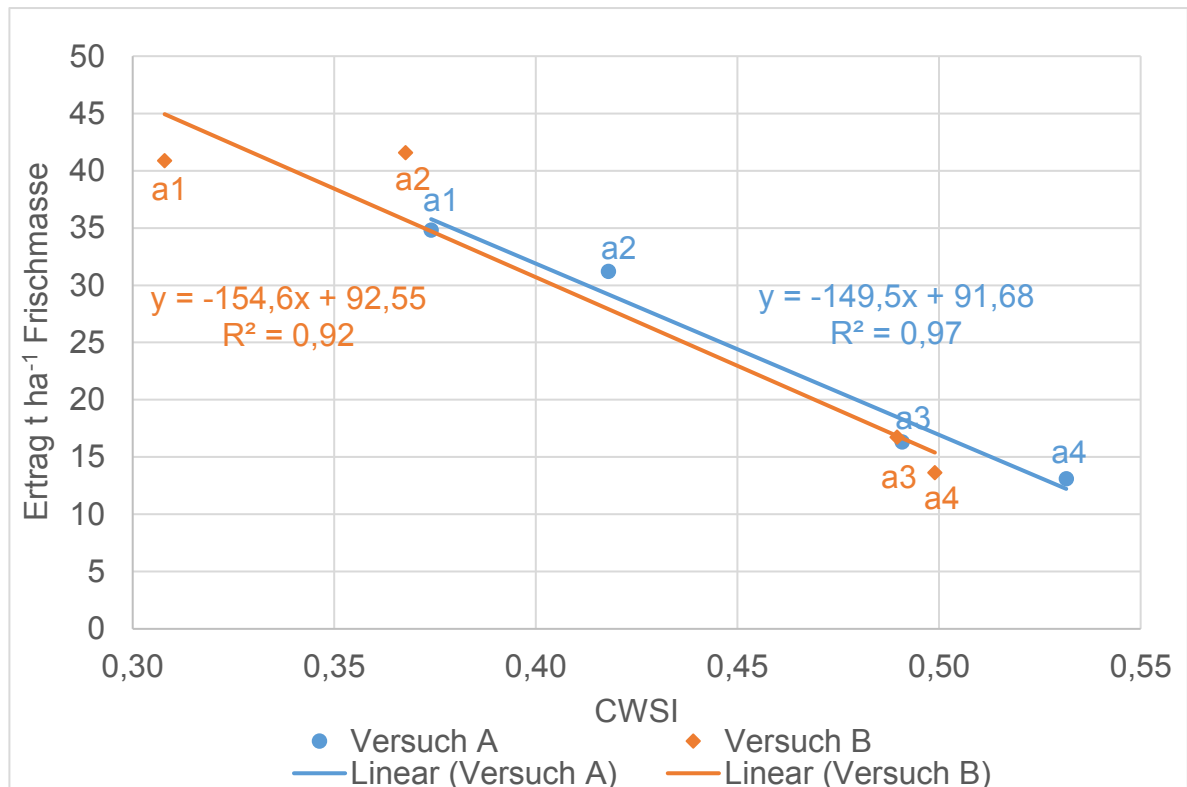


Abbildung 18: Beziehung zwischen dem Ertrag in t ha⁻¹ Frischmasse und dem CWSI in Versuch A und Versuch B

4.6 Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

Tabelle 4 beinhaltet die Trockensubstanzgehalte und die Trockenmasseerträge zum Zeitpunkt der sechsten Ernte von Versuch A, Tabelle 5 jene von Versuch B.

4.6.1 Versuch A

Der Trockensubstanzgehalt von Prüfglied a4 war signifikant höher als der von Prüfglied a1. Weder konnten signifikante Unterschiede im Trockensubstanzgehalt zwischen den Prüfgliedern a2, a3 und a4, noch zwischen den Prüfgliedern a1, a2 und a3 nachgewiesen werden. Die Trockenmasseerträge der Prüfglieder a1 und a2 waren signifikant höher als die vom Prüfglied a4.

Tabelle 4: Trockensubstanzgehalt in % und Trockenmasseertrag in t ha⁻¹ im Durchschnitt je Prüfglied zum sechsten Erntetermin;
Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$) in Versuch A

Prüfglied	Trockensubstanzgehalt in %	Trockenmasseertrag in t ha ⁻¹
a1	20,5 ^b	7,1 ^b
a2	21,7 ^{ab}	6,9 ^b
a3	22,9 ^{ab}	4,2 ^{ab}
a4	23,6 ^a	3,1 ^a

4.6.2 Versuch B

Die Trockensubstanzgehalte von Prüfglied a4 und a3 waren signifikant höher als die von Prüfglied a1. Keine signifikanten Unterschiede im Trockensubstanzgehalt konnten von Prüfglied a2 zu den Prüfgliedern a1, a3 und a4 nachgewiesen werden. Der Trockenmasseertrag vom Prüfglied a2 war signifikant höher als der vom Prüfglied a4.

Tabelle 5: Trockensubstanzgehalt in % und Trockenmasseertrag in t ha⁻¹ im Durchschnitt je Prüfglied zum sechsten Erntetermin;
Unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$) in Versuch B

Prüfglied	Trockensubstanzgehalt in %	Trockenmasseertrag in t ha ⁻¹
a1	17,2 ^{ab}	7,5 ^b
a2	19,4 ^{ab}	7,9 ^b
a3	21,1 ^a	3,6 ^{ab}
a4	22,3 ^a	3,1 ^a

4.7 Wassernutzungseffizienz

In Abbildung 17 ist die Wassernutzungseffizienz und der Wasserverbrauch der vier Prüfglieder zum Zeitpunkt der sechsten Ernte von Versuch A, in Abbildung 18 von Versuch B abgetragen. Die dafür verwendete Formel lautete:

$$\text{Wassernutzungseffizienz} = \frac{\text{kg ha}^{-1} \text{ Trockenmasseertrag}}{\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ Wasser}}$$

4.7.1 Versuch A

In Prüfglied a1 wurde mit 3298 m³ ha⁻¹ Wasser die höchste Menge Wasser eingesetzt, in Prüfglied a4 wurde mit 2035 m³ ha⁻¹ Wasser die niedrigste Menge Wasser eingesetzt.

Die höchste Wassernutzungseffizienz wurde im Prüfglied a2 erzielt, hingegen wurde die niedrigste Wassernutzungseffizienz in Prüfglied a4 verzeichnet. Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz zwischen den Prüfgliedern konnten nicht nachgewiesen werden.

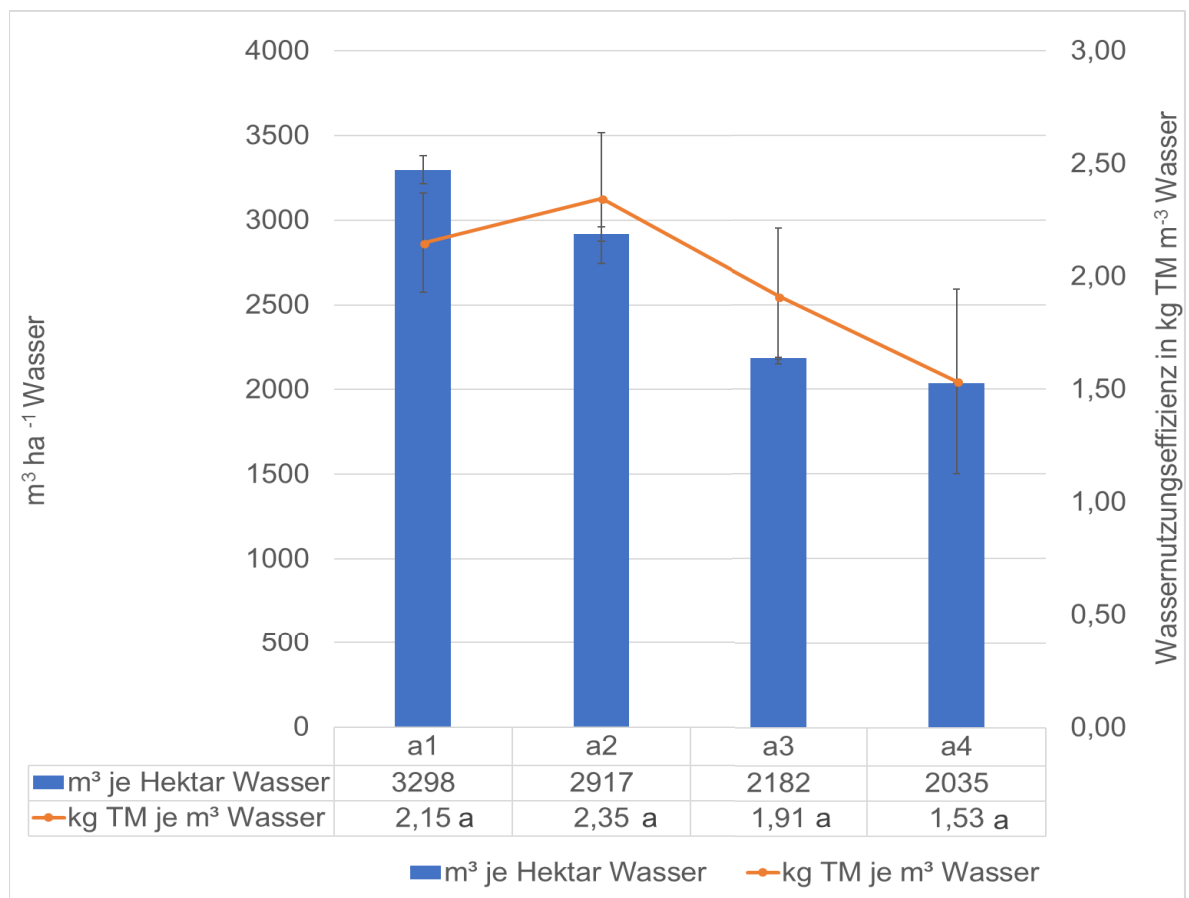


Abbildung 19: Durchschnittliche Menge Wasser sowie die durchschnittliche Wassernutzungseffizienz je Prüfglied in Versuch A;
Fehlerbalken = Standardabweichung;
Unterschiedliche Buchstaben in der letzten Zeile der Datentabelle kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.7.2 Versuch B

In Prüfglied a1 wurde mit 4750 m³ ha⁻¹ Wasser die höchste Menge Wasser eingesetzt, in Prüfglied a4 wurde mit 2198 m³ ha⁻¹ Wasser die niedrigste Menge Wasser eingesetzt. In Prüfglied a2 wurde die höchste, in Prüfglied a3 die niedrigste Wassernutzungseffizienz erzielt. Zwischen den verschiedenen Prüfgliedern konnten keine signifikanten Unterschiede in der Wassernutzungseffizienz nachgewiesen werden.

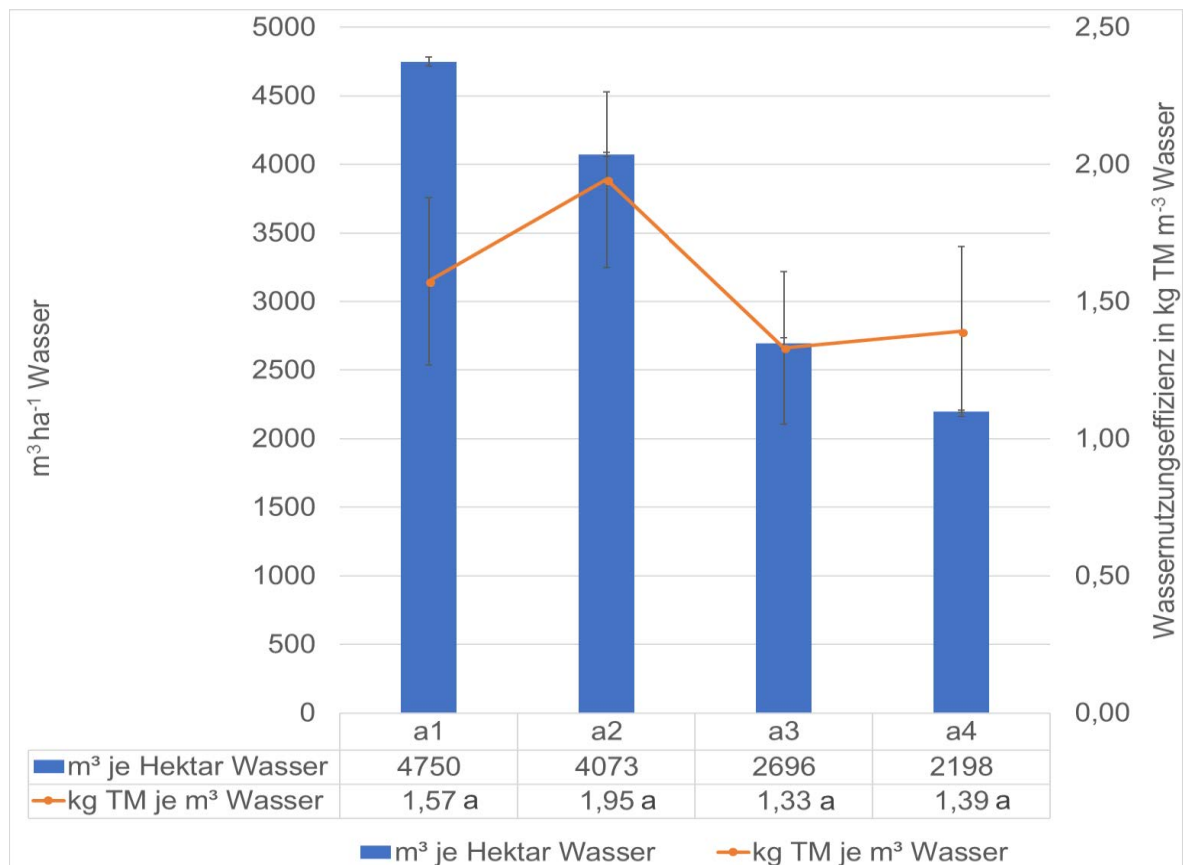


Abbildung 20: Durchschnittliche Menge Wasser sowie die durchschnittliche Wassernutzungseffizienz je Prüfglied in Versuch B;
Fehlerbalken = Standardabweichung;
Unterschiedliche Buchstaben in der letzten Zeile der Datentabelle kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.8 Knollenanzahl je Größeneinheit

In Abbildung 19 sind die durchschnittlichen Knollenanzahlen je Größenkategorie je Pflanze zum Zeitpunkt der sechsten Ernte von Versuch A, in Abbildung 20 von Versuch B abgetragen.

4.8.1 Versuch A

Prüfglied a1 bildete je Pflanze durchschnittlich $15 \pm 2,44$ Knollen aus, Prüfglied a2 $15 \pm 1,07$, Prüfglied a3 $15,81 \pm 2,19$ und Prüfglied a4 $12,75 \pm 1,97$. Zwischen den vier Prüfgliedern gab es keine signifikanten Unterschiede in der gesamten Knollenanzahl je Pflanze (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$).

Die Prüfglieder a1 und a2 haben signifikant mehr Knollen mit dem Durchmesser größer gleich 60 mm als das Prüfglied a4 ausgebildet. Auch in den Kategorien der Durchmesser 51 bis 59 mm und 45 bis 50 mm brachten die regelmäßig bewässerten Prüfglieder a1 und a2 mehr Knollen hervor als die Prüfglieder a3 und a4. Die wenig bewässerten Prüfglieder a3 und a4 haben besonders hohe Anzahlen an Knollen mit einem Durchmesser von 25-10 mm ausgebildet.

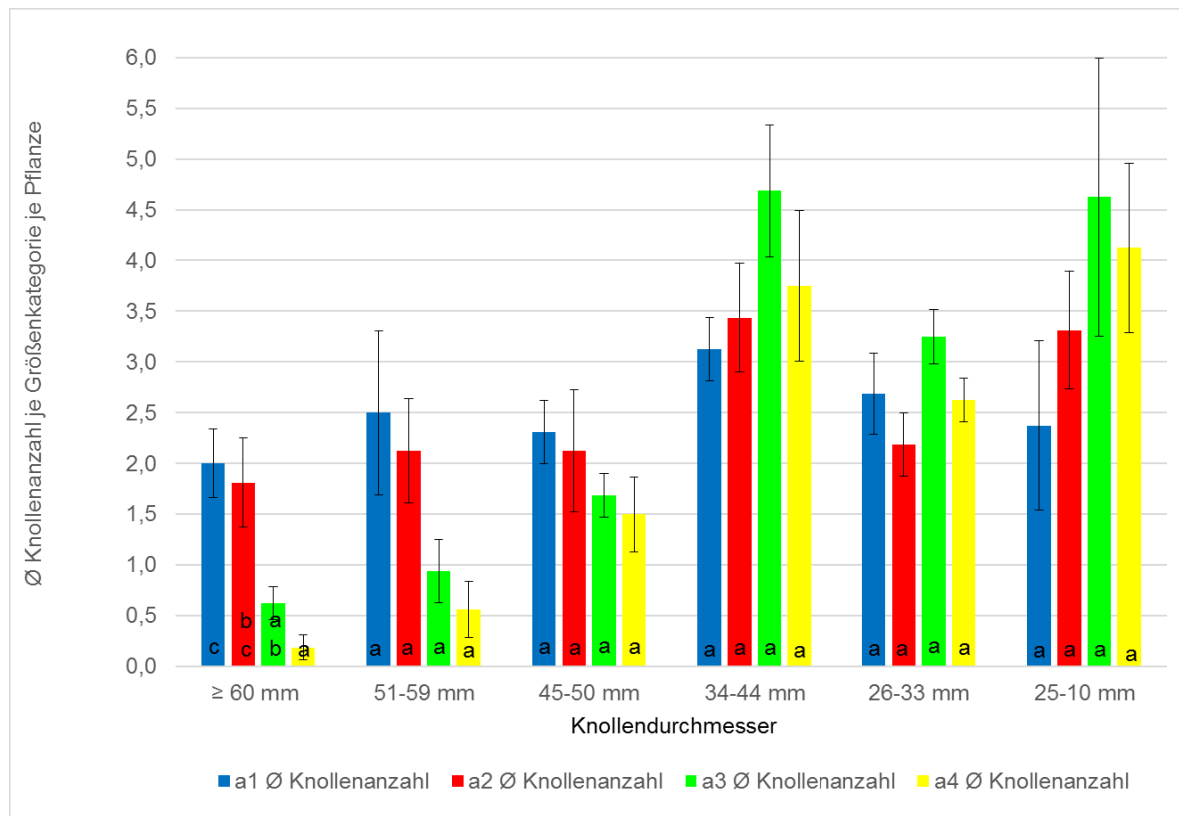


Abbildung 21: Zuordnung der Knollen der einzelnen Prüfglieder in Größenklassen zum Zeitpunkt der letzten Ernte in Versuch A;
Fehlerbalken = Standardabweichung;
Unterschiedliche Buchstaben in den Balken innerhalb einer Größenklasse kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.8.2 Versuch B

Prüfglied a1 bildete je Pflanze durchschnittlich $18,13 \pm 1,75$ Knollen aus, Prüfglied a2 $17,88 \pm 2,83$, Prüfglied a3 $15,13 \pm 0,47$ und Prüfglied a4 $14,13 \pm 1,67$. Zwischen den vier Prüfgliedern konnten keine signifikanten Unterschiede in der gesamten Knollenanzahl je Pflanze nachgewiesen werden (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$). Die Prüfglieder a1 und a2 bildeten eine signifikant höhere Knollenanzahl, die einen Durchmesser größer gleich 60 mm hatten, als die Prüfglieder a3 und a4 aus. Auch in den Kategorien der Durchmesser von 51-59 mm, 45-50 mm und 34-44 mm wurden im Versuch B tendenziell mehr Knollen von den Prüfgliedern a1 und a2 gebildet, wogegen die Prüfglieder a3 und a4 ab einem Durchmesser von 33 mm tendenziell höhere Anzahlen von ausgebildeten Knollen aufwiesen haben.

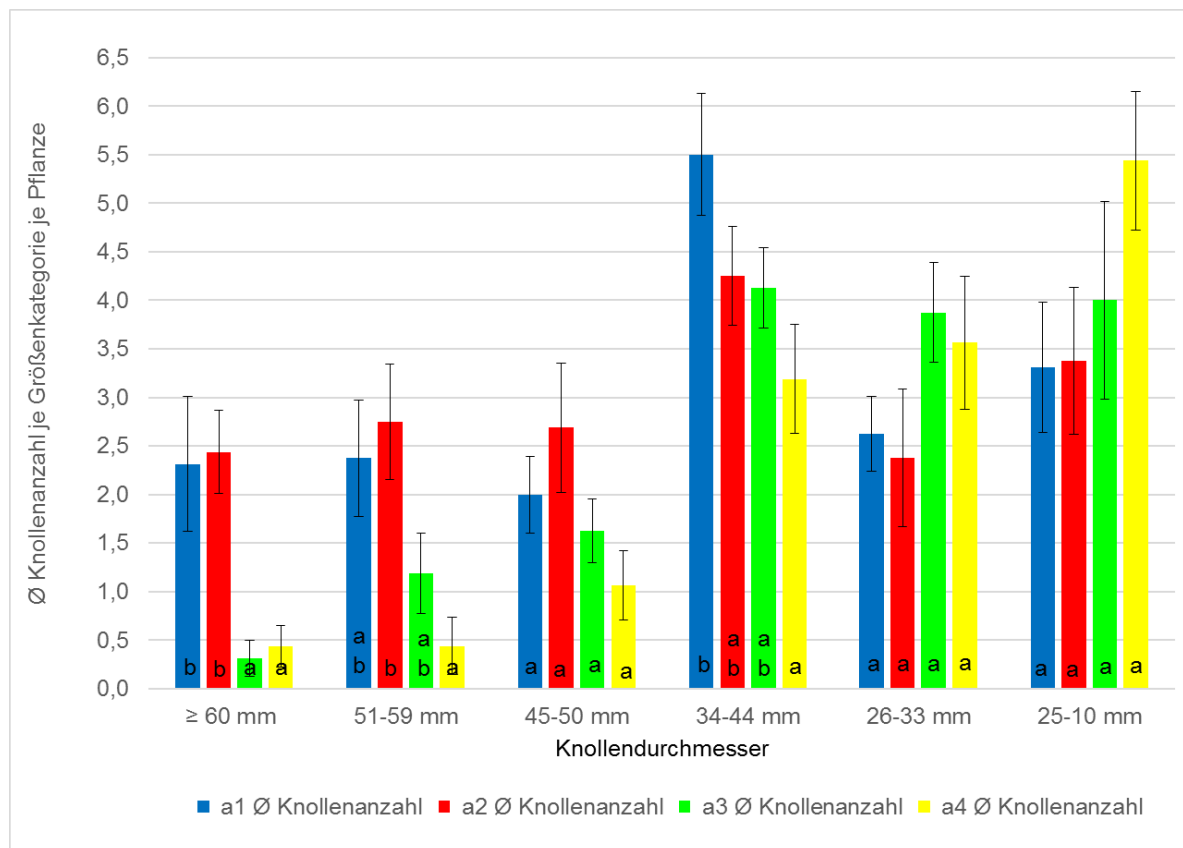


Abbildung 22: Zuordnung der Knollen der einzelnen Prüfglieder in Größenklassen zum Zeitpunkt der letzten Ernte in Versuch B;
Fehlerbalken = Standardabweichung;
Unterschiedliche Buchstaben in den Balken innerhalb einer Größenklasse kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey HSD Test $P \leq 0,05$)

4.9 Vergleich von Versuch B mit Versuch A

Um die Unterschiede im Frischmasseertrag und im Wassereinsatz von Versuch B zu Versuch A zu verdeutlichen, sind in Abbildung 23 die in der sechsten Ernte verzeichneten prozentualen Differenzen der vier Prüfgliedern von Versuch B zu Versuch A dargestellt. Während in Versuch A im Vergleich zu Versuch B im Prüfglied a3 19 % Wasser eingespart wurden, woraus eine Ertragsminderung von lediglich 2 % resultierte, hatten Einsparungen im Wassereinsatz um 28 % in Versuch A im Prüfglied a2 eine deutliche Ertragswirksamkeit, ein 25 % niedrigerer Ertrag als in Versuch B im Prüfglied a2 wurde verzeichnet.

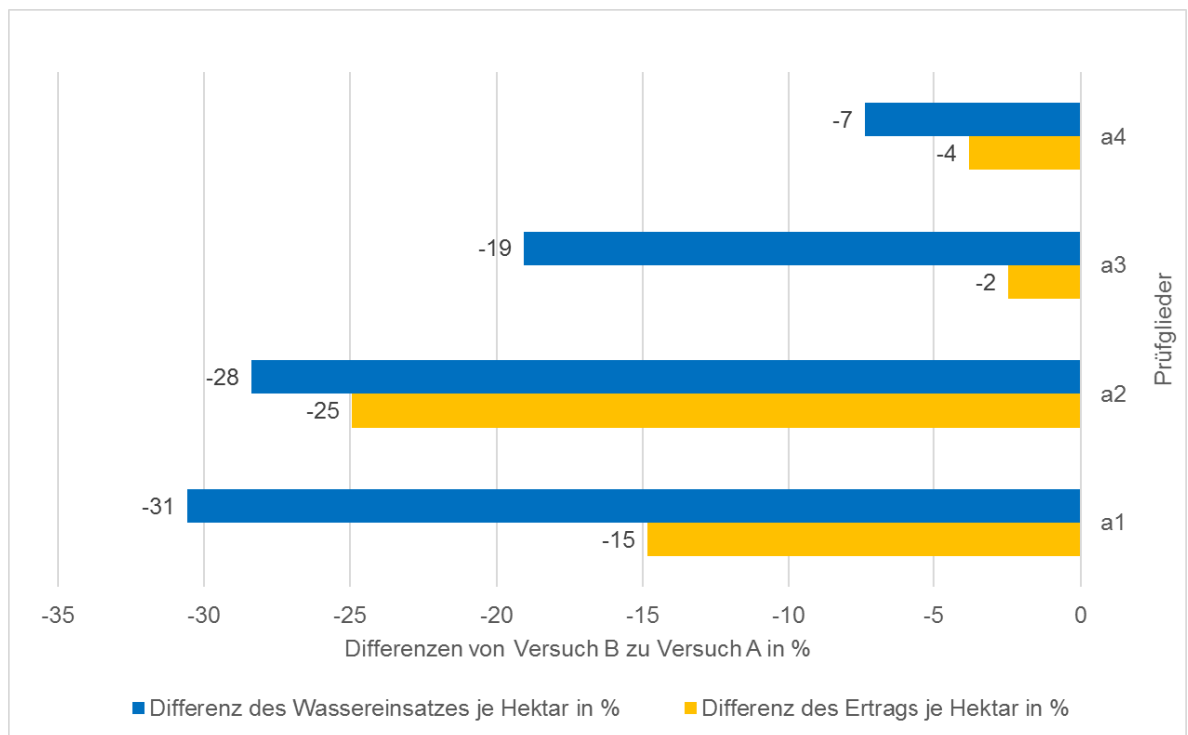


Abbildung 23: Prozentuale Unterschiede des Wassereinsatzes und der Frischmasseerträge vom Versuch B zum Versuch A zum Zeitpunkt der sechsten Ernte

5 Diskussion

5.1 Verwendung der Bodenfeuchte und des CWSI als Indikator zur Einschätzung der Wasserversorgung des Bestandes

IDSO et al. 1981 weisen darauf hin, dass unter einem reduzierten volumetrischen Wassergehalt des Bodens die Transpiration der Pflanzen abnimmt. Als Folge nimmt die Temperatur der Pflanzen zu und der CWSI steigt an (IDSO et al. 1981). Auch in Versuch A und B ist der beschriebene Zusammenhang zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI vorhanden (Abb. 13), dieser ist jedoch nicht in allen Messungen so eng, wie anfangs erwartet. Auffallend ist, dass im Rahmen des Versuches trotz eines Anstieges des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens, nicht zwangsweise auf einen entsprechenden Abfall im CWSI zu schließen ist. Mögliche Einflussfaktoren für einen manchmal weniger engen Zusammenhang zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI können einerseits in einer nicht repräsentativen Messung des volumetrischen Wassergehalt des Bodens zu finden sein, andererseits sind an einigen Tagen auch die Werte des CWSI kritisch zu hinterfragen.

Mit der Intention einen möglichst repräsentativen volumetrischen Wassergehalt des Bodens zu ermitteln, sollten stets zwei Bodenproben aus allen fünf Wiederholungen des jeweiligen Prüfgliedes entnommen werden. Aufgrund des damit einhergehenden sehr hohen Arbeitsaufwandes war dies nur manchmal möglich. Größtenteils wurden aus zwei bis drei Parzellen je Prüfglied Bodenproben entnommen. Die Tatsache, dass eine Änderung des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens nicht zwangsläufig zu einer proportionalen Reaktion des CWSI führte, kann ihre Ursache in der reduzierten Anzahl an entnommenen Bodenproben haben. Laut FRICKE 2017 verliert die Aussagekraft der Bodenfeuchte, bei geringer Anzahl und Verteilung der Messpunkte, für den Gesamtschlag an Wert, da nach PASCHOLD 2010 bereits in dem Bereich kleiner Flächen die Bodenfeuchte sehr stark schwanken kann. Demzufolge erscheint es als möglich, dass durch die punktförmige Entnahme der Bodenproben, die Wahrscheinlichkeit den volumetrische Wassergehalt über- oder unterschätzt zu haben, gestiegen ist. MICHEL, SOURELL 2014 weisen darauf hin, dass zudem die

möglichen Unterschiede der Bodenstruktur, als auch die Heterogenität der Wasserverteilung zu beachten sind. Unterschiede in den Bodeneigenschaften könnten somit, trotz gleichem volumetrischem Wassergehalt, zu einer verschiedenen Wasserversorgung der Pflanzen führen (MICHEL, SOURELL 2014). Bei genauerer Analyse der 3305 m² umfassenden Versuchsfläche, die als ein stark schluffiger Sand („Su4“) klassifiziert worden ist, werden Abweichungen in der Korngrößenzusammensetzung sichtbar. Die Gehalte des Bodens an Ton reichen von 5,4 % bis 0,7 %, die Schluffgehalte variieren zwischen 48,7 % und 32,7 % und die Gehalte an Sand reichen von 63,8 % bis 48,8 %. In Anbetracht der oben beschriebenen Einflussfaktoren, erscheint es als durchaus möglich, Unstimmigkeiten in der Beziehung zwischen dem volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dem CWSI auf Ungenauigkeiten in der Bodenfeuchtemessung zurückzuführen, nicht jedoch die in beiden Punktwolken vier rot umkreisten Punkte (Abb. 13). Dies sind die Messergebnisse, welche am 90. Tag nach der Pflanzung erhoben wurden, ein Zeitpunkt, zu dem, auf Grund des Eintretens der Kartoffelpflanzen in die Phase der Seneszenz (Abb. 14; Abb. 15), die Transpiration der Blätter abnimmt und folglich die Messung des CWSI zur Einschätzung des Wasserversorgungszustandes des Bestandes an Wertigkeit verliert (RINZA 2017).

Da die Wasserversorgung der Pflanze nicht nur von der Bodenfeuchte, sondern sowohl von den atmosphärischen Bedingungen beeinträchtigt wird (YAZAR et al. 1999), als auch von hydraulischen Leitwiderstandskräften vom Boden zur Pflanze, erscheint es als vorteilhaft den Wasserversorgungsgrad des Bestandes direkt an den Pflanzen zu messen (JONES 2004).

Grundsätzlich ist als Folge einer Bewässerung ein Abfall der Werte des CWSI zu erwarten (Abb. 11; Abb. 12), da eine Zunahme von pflanzenverfügbarem Wasser dazu führt, dass sich die Stomata der Pflanzen weiter öffnen, die Transpirationsrate steigt und die Blatttemperatur sinkt (ERDEM et al. 2006).

Im Hinblick auf die während der Vegetationsphasen gesammelten Messergebnisse des CWSI, offenbarten sich auch im Verlauf des CWSI manche Unstimmigkeiten im Zusammenhang des Trockenstresses mit der Wasserverfügbarkeit. Der sich über alle Prüfglieder vollziehende Abfall des CWSI in beiden Versuchen am 62. Tag nach

der Pflanzung ist keinesfalls in allen Prüfgliedern mit einem Wassereinsatz begründbar (Abb. 11; Abb. 12), weist jedoch einen Zusammenhang mit den Abweichungen der atmosphärischen Bedingungen der umliegenden Tage auf. Während die Windgeschwindigkeit, welche die Blatttemperatur beeinflussen kann, eher durchschnittliche Werte aufweist (Abb. A 3), wurden am 62. Tag nach der Pflanzung deutlich geringere Werte der Globalstrahlung und des Sättigungsdefizits (Abb. A 4) im Zeitraum der Messungen registriert. Als Folge wurde in allen Prüfgliedern ein deutlicher Abfall in der Differenz von der Blatttemperatur zu der Lufttemperatur registriert. Die Differenz von Blatttemperatur zu Lufttemperatur - Indikator für die Transpiration der Pflanze - beeinflusst maßgeblich die Werte des CWSI (MONNEVEUX et al. 2013). Durch diese Messergebnisse werden die Auswirkungen von Variationen in den atmosphärischen Bedingungen verdeutlicht, da die Differenz von Blatttemperatur zu Lufttemperatur bei unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen variiert. JONES 2014 betont, dass bei der Verwendung des CWSI als Indikator für Trockenstress die Tatsache, dass dieser den Öffnungsgrad der Stomata misst, nicht außer Acht gelassen werden sollte. Zudem beachtet werden sollte nach JONES, SCHOFIELD 2008, dass ein Schließen der Stomata an Pflanzen auch durch andere Ursachen als Wassermangel hervorgerufen werden kann. Ein Wasserüberschuss, der Befall mit Pflanzenkrankheiten oder eine Versalzung des Bodens kann ebenfalls bewirken, dass sich die Stomata schließen, welches sich in einer erhöhten Blatttemperatur widerspiegelt. Angesichts dieser Sensibilität der Blatttemperatur, erscheint für eine belastbare Interpretation der Messergebnisse des CWSI, die Beachtung von weiteren Faktoren, welche die Blatttemperatur möglicherweise beeinflussen, als notwendig.

Unvorhergesehene Entwicklungen des CWSI, die weder durch die meteorologischen Daten aus Abb. A 3 und A 4, noch mit einem Wassereinsatz in Verbindung gebracht werden können, sind möglicherweise mit der teilweise in frühen Morgenstunden an der Blattoberfläche abgesetzten Feuchtigkeit begründbar (Abb. A 5).

Sowohl der volumetrische Wassergehalt des Bodens als auch der CWSI können für eine Bewässerungsentscheidung in Betracht gezogen werden (JONES 2014). Nach MICHEL 2013 ist es in der Bewässerung entscheidend, zum optimalen Zeitpunkt die richtige Menge Wasser einzusetzen. Im Rahmen von Versuch A wurde der Ansatz verfolgt, mit dem CWSI den Zeitpunkt zur Bewässerung und anhand des volumetrischen Wassergehalt des Bodens die Menge der Bewässerung zu bestimmen.

Des Weiteren erwies sich die Kombination beider Methoden im Rahmen der Versuche als geeignet, um mit den Informationen über Pflanzenzustand und Bodenfeuchte mögliche Fehleinschätzungen der Wasserverfügbarkeit, basierend auf einer der beiden Messmethoden, zu relativieren. Bezogen auf den 62. Tag nach der Pflanzung bekräftigen beispielsweise, ergänzend zu den atmosphärischen Bedingungen, die am 60. Tag nach der Pflanzung erhobenen volumetrischen Wassergehalte des Bodens (Abb. A 6; Abb. A 7) eine Unterschätzung des am 62. Tag nach der Pflanzung gemessenen Trockenstresses durch den CWSI.

Trotz der oben diskutierten Einflussfaktoren welche zu einer Verzerrung bei der Messung des CWSI führen können, ist im Rahmen der Versuche, angesichts der sehr engen Zusammenhänge zwischen Ertrag und CWSI (Abb. 18), die Eignung des CWSI für Bewässerungssteuerungen hervorzuheben.

5.2 Erträge der vier Prüfglieder in Versuch A und Versuch B

Von GUTIÉRREZ-ROSALES et al. 2007 wird die Kartoffelsorte „UNICA“ im Anbau an der peruanischen Küste mit 90 bis 110 Vegetationstagen und einem Ertragspotential von 50 t ha⁻¹ Frischmasse beschrieben. Nachdem die Prüfglieder a1, a3 und a4 im Versuch A und Versuch B bereits zum fünften Erntetermin ihren maximalen Ertrag erreichten, erlitten sie in der sechsten Ernte einen unerwarteten Ertragsabfall. Hinsichtlich einer Ertragsmaximierung wäre eine finale Ernte der Prüfglieder a1, a3 und a4 beider Versuche zum 91. Tag nach der Pflanzung sinnvoll gewesen. In Prüfglied a1 von Versuch B wurden bis zum 53. Tag nach der Pflanzung insgesamt 3630 m³ ha⁻¹ Wasser eingesetzt, nach MICHEL 2013 wird durch eine frühe und hoch einsetzende Bewässerung, eine schnelle Knollenausbildung begünstigt. SALAZAR 1995 kam zu dem Schluss, dass hohe Bodenfeuchten, wie

im Prüfglied a1 des Versuches B verzeichnet (Abb. A 6), zum Öffnen von Lentizellen an der Knollenschale führen. Im Prüfglied a1 des Versuches B wurden ab dem 53. Tag nach der Pflanzung geöffnete Lentizellen entdeckt. Im Fall von andauernd hohen Bodenfeuchten vergrößern sich die Lentizellen durch die Aufnahme von Wasser, folglich kann es zum Reißen der Korkschicht, welche die Lentizellen abschließt, kommen, wodurch der Eintritt von Schaderregern ermöglicht wird (DETER 2014). Von der fünften auf die sechste Ernte vollzog sich im Prüfglied a1 von Versuch B der größte Ertragsabfall. Durch die besonders hohen Bodenfeuchten und die geöffneten Lentizellen, könnte insbesondere Prüfglied a1 in Versuch B einem erhöhten Infektionsdruck ausgesetzt worden sein. Die Ertragsrückgänge von der fünften auf die sechste Ernte in Prüfglied a1 von Versuch A, als auch der Prüfglieder a3 und a4 fielen weniger stark aus, konnten jedoch auch auf den gestiegenen Anteil an angefaulten und von Schädlingen beschädigten Knollen zurückgeführt werden.

Während die Prüfglieder a1 und a2 des Versuches A und B in der sechsten Ernte mit 31,4 t ha⁻¹ Frischmasse bis 41,6 t ha⁻¹ Frischmasse akzeptable Erträge hervorbrachten, wurden in den weniger bewässerten Prüfliedern a3 und a4 der Versuche A und B mit maximal einem Drittel des Ertragspotentials, keine zufriedenstellenden Erträge erreicht. Der Prüffaktor war die Bewässerung. Die verschiedenen Prüfglieder unterlagen, abgesehen von der ab dem 34. Tag nach der Pflanzung einsetzenden differenzierten Bewässerung, den gleichen Pflegemaßnahmen. Demzufolge sind die ab der dritten Ernte entstandenen signifikanten Unterschiede im Ertrag beider Versuche als Konsequenz der differenzierten Bewässerung anzusehen, womit die Aussage von LEVY, COLEMAN 2014, dass ein ausreichender Wassereinsatz entscheidend für den Ertrag ist, auch auf diesen Versuch zutrifft. Die Differenzen im Ertrag der sechsten Ernte sind auf variierende Ertragszuwächsen während der Phasen der Vegetation zurückzuführen, die mithilfe der Zwischenernten festgehalten wurden (Abb. 16; Abb. 17).

Versuch A

Besonders auffällig ist der sich unter den vier Prüfgliedern unterscheidende Ertragszuwachs von der ersten auf die zweite Ernte. In Prüfglied a2 wurden

zwischen dem 39. Tag nach der Pflanzung und dem 53. Tag nach der Pflanzung in zwei Bewässerungen insgesamt $351 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Wasser eingesetzt, der Ertrag verzehnfachte sich von der ersten auf die zweite Ernte im Prüfglied a2, während das in dieser Periode nicht bewässerte Prüfglied a4 seinen Ertrag von der ersten auf die zweite Ernte lediglich vervierfachte. Die Kombination von sich unterscheidenden Ertragszuwächsen von der ersten auf die zweite Ernte, mit den tendenziell unterschiedlichen Erträgen in der zweiten Ernte, deuten an, dass der frühe Trockenstress (Abb. 11) und ein niedriger volumetrischer Wassergehalt des Bodens (Abb. A 6) sich bereits in der zweiten Ernte auf die Ertragszuwächse auswirkten, welche ab der dritten Ernte zu signifikanten Unterschieden im Ertrag führten (Abb.16). Über die gesamte Vegetationsperiode konnten ohne eine Bewässerung keine vergleichbaren Ertragszuwächse wie bei den bewässerten Prüfgliedern beobachtet werden, wobei nach ausbleibender Bewässerung von dem 68. auf den 83. Tag nach der Pflanzung die deutlichste Minderung im Ertragszuwachs beobachtet werden konnte. In dieser Phase des Knollenwachstums wurden von dem 68. auf den 83. Tag nach der Pflanzung in dem bewässerten Prüfglied a2 Ertragszuwächse von 29 % verzeichnet, während das nicht bewässerte Prüfglied a3 den Ertrag nur um 2 % steigern konnte. Der Ertragszuwachs des Prüfgliedes a3 in der fünften Ernte von 26 % unterstreicht zum einen die Ertragsrelevanz von den eingesetzten $187 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Wasser, zum andern wird der Effekt einer Bewässerung auch noch in der Phase des späten Knollenwachstums offenbart.

Versuch B

In der ersten Ernte betrug der durchschnittliche Ertrag der Prüfglieder a4 nur 11 % des Durchschnittsertrages der Prüfglieder a1 (Abb. 17). Da die differenzierte Bewässerung erst fünf Tage vor der ersten Ernte einsetzte, lässt sich der deutliche Ertragsunterschied nicht auf die unterschiedlichen Wassergaben zurückführen. Zwar konnte im Nachhinein die genaue Ursache hierfür nicht mit Sicherheit aufgeklärt werden, doch mögliche Erklärungen für die niedrigen Erträge der Prüfglieder a3 und a4 in der ersten Ernte, könnten in unterschiedlichen Größen der Mutterknollen (ALMEIDA et al. 2016) und deren unterschiedlich starken Vorkeimung gefunden werden (PETERS 2018). Im Rahmen des Versuches, lässt die vermutliche

Heterogenität der gelegten Knollen die Erträge der Prüfglieder a3 und a4 am ersten Erntetermin unterdurchschnittlich ausfallen, folglich erscheint es unangebracht diese Erträge mit den Erträgen der Prüfglieder a3 und a4 im zweiten Erntetermin zu vergleichen, woraus auf einen sehr starken Ertragszuwachs der Prüfglieder a3 und a4 zu schließen wäre. Mit der Annahme, dass die restlichen Boniturplots der Prüfglieder a3 und a4 vergleichbare Mutterknollen mit den Boniturplots der Prüfgliedern a1 und a2 aufwiesen und folglich höhere Erträge als der zum ersten Erntetermin geerntete Boniturplot vorgewiesen hätten, würden sich die hohen Ertragszuwächse der Prüfglieder a3 und a4 in der zweiten Ernte relativieren. In diesem Fall scheint es als geeigneter, anstatt von den Ertragszuwächsen auf die Ertragsrelevanz von dem Wassereinsatz zwischen der ersten Ernte und der zweiten Ernte zu schließen, die nicht von der Hand zu weisenden Ertragsunterschiede zu beachten. Der differenzierte Wassereinsatz spiegelte sich nicht nur in dem niedrigen volumetrischen Wassergehalt des Bodens (Abb. A 7) und einem hohen CWSI (Abb. 12) wider, sondern drückte sich bereits in der zweiten Ernte in doppelt so hohen Erträgen der bewässerten Prüfglieder im Vergleich zu den unbewässerten Prüfgliedern aus, ab dem dritten Erntetermin - wie auch in Versuch A - wurden die Unterschiede im Ertrag signifikant.

Deutliche Unterschiede weisen des Weiteren die Ertragszuwächse von der dritten auf die vierte Ernte auf: Während das Prüfglied a1 in der vierten Ernte (seit dem 34. Tag nach der Pflanzung sieben Mal bewässert) seinen Ertrag der dritten Ernte verdoppelte und den dreifachen Ertrag wie das Prüfglied a3 hervorbrachte (seit dem 34. Tag nach der Pflanzung einmal bewässert), erfuhren die Prüfgliedern a3 und a4 lediglich einen jeweiligen Ertragszuwachs von 49 %.

Hinsichtlich der Ertragsentwicklung in den Versuchen A und B, in denen abhängig von der Vegetationsphase eine unterschiedlich hohe Ertragsrelevanz des Wassereinsatzes zu beobachten war, kann die These von JEFFERIES 1995, dass die Reaktion von Pflanzen auf Trockenstress vom Moment des Einsetzens der Wasserrestriktionen abhängig ist, im Rahmen dieses Versuches als zutreffend bezeichnet werden.

Im Rahmen der Versuche A und B kam, im Hinblick auf die variierenden Ertragszuwächse, der Vermeidung von Trockenstress des Bestandes in zwei Phasen der Bestandsentwicklung die größte Bedeutung hinzu. Sowohl in Versuch A als auch in Versuch B wurden von den Prüfgliedern a1 und a2, welche zwischen dem 39. Tag nach der Pflanzung und dem 53. Tag nach der Pflanzung bewässert wurden, deutlich höhere Erträge in der zweiten Ernte als von den unbewässerten Prüfgliedern a3 und a4 verzeichnet. Die Beobachtung der hohen Ertragsrelevanz einer Bewässerung in dieser Phase der Vegetation stimmt mit STEDUTO et al. 2012 überein, welche die Vermeidung von Trockenstress während der Knollenbildung und dem frühen Knollenwachstum als besonders bedeutend für entsprechende Ertragszuwächse beschreiben.

Besondere Auswirkungen auf den Ertrag scheint zudem im Rahmen der Versuche A und B die Wasserverfügbarkeit vom 68. Tag nach der Pflanzung auf den 83. Tag nach der Pflanzung zu haben. Laut STARK, MCCANN 1992, welche nach einem in der mittleren Phase des Knollenwachstums (drei bis sechs Wochen nach dem Knollenansatz) wirkenden Trockenstress die stärkste Reduzierung des Ertragszuwachses ermittelten, sind die in dieser Vegetationsphase entstehenden starken Abweichungen des Ertragszuwachses als verspätet zu interpretieren. Hinsichtlich des auf den 34. Tag nach der Pflanzung datierten Knollenansatz wäre es nach STARK, MCCANN 1992 zu erwarten gewesen, dass sich bereits in dem prozentualen Ertragszuwachs in der dritten Ernte, welche knapp zwei Wochen nach Eintreten des mittleren Knollenwachstums vorgenommen wurde, der unterschiedlich starke Trockenstress verdeutlicht.

Ist das Ziel die Ertragsmaximierung mit einer geringen Bewässerung, erscheint es als durchaus angebracht, vor einem Wassereinsatz die Aussage von STARK et al. 2013 zu beachten. Sie betonen, dass bei geringer Wasserverfügbarkeit der richtige Zeitpunkt eines Wassereinsatzes zu wählen ist, um Ertragsverluste aufgrund von Trockenheit zu minimieren (STARK et al. 2013).

5.3 Trockensubstanzgehalte in Versuch A und B

Die Trockensubstanzgehalten der Prüfglieder a3 und a4 übersteigen mit jeweils 22,9 % und 23,6 % in dem Versuch A (Tab. 4) und von jeweils 21,1 % und 22,3 %

in dem Versuch B (Tab. 5) deutlich den für die Sorte durchschnittlichen Trockensubstanzgehalt von 19 % (GUTIÉRREZ-ROSALES et al. 2007). Die Aussage von JEFFERIES 1995, der den Trockensubstanzgehalt der Knollen als eine Reflektion der Wasserversorgung der Pflanzen beschreibt, scheint auch auf Versuch A und B zutreffend, denn die Beobachtungen von ROJAS et al. 2007, dass Kartoffelknollen bei geringerem Wassereinsatz höhere Trockensubstanzgehalte aufweisen, ist auch in den Ergebnissen der Versuche A und B ersichtlich (Tab. 4; Tab. 5). MOORBY 1978 ermittelte, dass bei Trockenstress während des Knollenwachstums Wasser aus den Knollen extrahiert wird. KOLBE 2018 kam zum Schluss, dass eine höhere Bodenfeuchte sich in einem Absinken der Trockensubstanzgehalte äußert. Hinsichtlich der hohen Trockensubstanzgehalte eignen sich besonders die Kartoffeln der Prüfglieder a3 und a4 für die Weiterverarbeitung zu Trockenprodukten wie Pommes Frites (DIEPENBROCK et al. 2012).

5.4 Knollengrößen und Knollenanzahlen in Versuch A und B

Für den Landwirt steht nicht die Höhe des Gesamtertrages, sondern vielmehr die Maximierung der Vermarktbarkeit des Ertrages an erster Stelle. Die Wasserversorgung beeinflusst die Anteile von Knollen in den verschiedenen Größenklassen und folglich auch direkt die Anzahl von den vermarktbar Knollen (VAN LOON 1981). Der allgemeine Trend in beiden Versuchen, dass in den Prüfgliedern a3 und a4 eine größere Menge von Knollen in kleinen Größenklassen gebildet wurde (Abb. 21; Abb. 22), ist nach DWYER, BOISVERT 1990 auf den geringen Wassereinsatz in den Prüfgliedern a3 und a4 zurückzuführen. Ergänzend beschreiben WALWORTH, CARLING 2002, dass durch regelmäßige Bewässerung das Ausbilden von Knollen mit größerem Durchmesser begünstigt wird. In Hinblick auf die UNECE-NORM FFV-52 2011, welche eine Mindestgröße von Knollen, sodass sie nicht durch ein Quadratmaß von 35 mm mal 35 mm fallen für die Vermarktung vorschreibt, erwiesen sich die Bewässerungsintervalle in den Prüfgliedern a1 und a2, für eine Maximierung der Vermarktbarkeit des Ertrages, als geeignet. Mit der Annahme, dass der Anteil an vermarktbar Knollen nicht verfälscht wird, werden nachfolgend Knolldurchmesser bis 34 mm als vermarktbar

betrachtet, da im Rahmen der Versuche der Knollendurchmesser nicht auf 35 mm untersucht wurde. In Versuch A ist der Anteil an vermarktbareren Knollen von Prüfglied a4 zu Prüfglied a1 um 66 % gestiegen, in Versuch B ist der Anteil an vermarktbareren Knollen in den Prüfgliedern a1 und a2 mehr als doppelt so hoch wie in Prüfglied a4. Die hohe Anzahl von Knollen der Prüfglieder a3 und a4 mit kleineren Durchmessern als 34 mm, könnten solange sie größere Durchmesser als 25 mm aufweisen, unter der Bezeichnung „Drillinge“ vermarktet werden (DEUTSCHE KARTOFFELGESCHÄFTSBEDINGUNGEN 1956).

Zwar drückte sich in Versuch A und Versuch B die differenzierte Bewässerung in der Knollenanzahl je Größenkategorie aus, ein signifikanter Unterschied in der gesamten Knollenanzahl konnte jedoch nicht festgehalten werden. HAVERKORT et al. 1990 ermittelten, dass ein erstmal ausgebildetes Stolon Knollen hervorbringt, ungeachtet von Trockenperioden zu späteren Vegetationsphasen. Die verschiedenen Prüfglieder waren in den ersten 34 Tagen nach der Pflanzung keiner differenzierten Bewässerung ausgesetzt, woraus die in Abbildung 24 dargestellte recht ausgeglichene Entwicklung der Einzeltriebe zu erklären ist, welche auf eine ungefähr gleiche Anzahl von ausgebildeten Stolonen schließen lässt (WURR 1977).



Abbildung 24: Gegenüberstellung der Entwicklung von den Kartoffelpflanzen (links aus dem Prüfglied a1; rechts aus dem Prüfglied a4) am 35. Tag nach der Pflanzung (09.11.2017)

Die Auswirkungen des Trockenstresses wurden auch in den Blattbedeckungsgraden sichtbar (Abb. 14; Abb. 15; Abb. A 7). Versuche von VAN LOON 1981 zeigten, dass niedrigere Blattbedeckungsgrade während der Phase des Knollenwachstums, wie es in den Prüfgliedern a3 und a4 von Versuch A und B der Fall war (Abb. 14; Abb. 15), aufgrund einer weniger dicht bedeckten Bodenoberfläche und einer verminderten Leistung der Photosynthese, sich unvorteilhaft auf die potentiell mögliche Knollenausbildung auswirken. Des Weiteren stimmten die Ergebnisse aus Versuch A, als auch aus Versuch B mit LEVY, COLEMAN 2014 überein, welche als Folge von Trockenstress eine früher eintretende Seneszenz bei den Kartoffelpflanzen beobachteten (Abb. 14; Abb. 15).

5.5 Vergleich von Versuch A mit Versuch B

Der Hersteller NETAFIM 2018 behauptet im Vergleich zur Furchenbewässerung, 30 % bis 40 % an Wasser durch die Tröpfchenbewässerung im Kartoffelanbau einzusparen. Während in Versuch A von dem Prüfglied a1 mit 31 % und von den

Prüfglied a2 mit 28 % eine akzeptable Menge Wasser im Vergleich zu Versuch B eingespart wurde, konnte das Prüfglied a3 mit 19 % und besonders das Prüfglied a4 mit 7 %, aufgrund der wenigen Bewässerungen, nur geringere Wassereinsparungen entwickeln (Abb.23).

Laut BEUKEMA, VAN DER ZAAG 1979 liegt der Transpirationskoeffizient von Kartoffeln zwischen 400 und 600 Liter. Dies entspricht einer Wassernutzungseffizienz von 1,66 kg Trockenmasse m^{-3} Wasser bis 2,50 kg Trockenmasse m^{-3} Wasser. Vor allem die Prüfglieder a1 und a2 des Versuches A wiesen mit jeweils 2,15 kg Trockenmasse m^{-3} Wasser und 2,35 kg Trockenmasse m^{-3} Wasser zufriedenstellende Ergebnisse auf, wogegen in Versuch B lediglich in Prüfglied a2 mit 1,95 kg Trockenmasse m^{-3} Wasser eine effiziente Verwertung des eingesetzten Wassers festgehalten wurde (Abb. 19; Abb. 20). Mit dem Ziel die richtige Menge Wasser einzusetzen, orientierten sich die Bewässerungsmengen im Versuch A im Gegensatz zu Versuch B, am volumetrischen Wassergehalt des Bodens und dessen Feldkapazität. Die Absicht war es, sowohl ein Ertragsverlust aufgrund zu geringer Wasserversorgung zu vermeiden, als auch den von RIEDEL, FRICKE 2015 beschriebenen Effekt, dass durch zu hohe Bewässerungsmengen Wasser ungenutzt versickert und es zu einem Austrag von Nährstoffen kommt. Zudem wurden in Versuch B große Teile der Bodenoberfläche befeuchtet, in Versuch A wurde das Wasser punktuell auf der Dammkrone eingesetzt. Die Wasserverluste welche auf direkte Verdunstung zurückzuführen sind, werden nach RIEDEL, FRICKE 2015 in der Furchenbewässerung im Vergleich zur Tröpfchenbewässerung als deutlich höher eingeschätzt. Ergänzend ist hinzuzufügen, dass tagsüber, meist nachmittags bewässert wurde, einen von MICHEL 2013 als ungünstig bezeichneten Bewässerungsmoment, da hier die unproduktiven Verdunstungsverluste als besonders hoch einzuschätzen sind. Die im Rahmen des Versuches A festzuhaltende effizientere Wassernutzung im Vergleich zu Versuch B (Abb. 19, Abb. 20), sieht sich in der Aussage von SPOHRER 2015 bestärkt, welcher die Tröpfchenbewässerung als das effizienteste Bewässerungsverfahren im Kartoffelanbau beschreibt. Um die Wassernutzungseffizienz weiter zu erhöhen, schlagen COSTAS et al. 1997 vor, die Wassereinsätze im Kartoffelanbau in

Vegetationsphasen, in denen Trockenstress als weniger ertragsreduzierend einzuschätzen ist, zurückzufahren.

Im Vergleich zu Versuch A wurden im Versuch B höhere Bewässerungsmengen eingesetzt, was tendenziell zu einem niedrigeren CWSI führte, wodurch höhere Erträge registriert wurden. In der sechsten Ernte konnten sich im Rahmen des Versuches A in keinem Prüfglied Mehrerträge bewahrheiten, die Erträge waren sogar im Vergleich zu Versuch B bis zu 25 % geringer. Diese Erkenntnisse stehen im Widerspruch zu SHOCK et al. 2013, KUMAR et al. 2009 und NETAFIM 2018, welche die Tröpfchenbewässerung im Vergleich zur Furchenbewässerung in Beziehung mit höheren Erträgen brachten. Die gewonnenen Ergebnisse decken sich jedoch mit denen von ERDEM et al. 2005, auch sie berichteten von insgesamt höheren Werten des CWSI in der Tröpfchenbewässerung als in der Furchenbewässerung und einem höheren Endertrag der Furchenbewässerung im Vergleich zur Tröpfchenbewässerung.

Durchaus möglich ist es, dass obwohl der Wassereinsatz in Versuch A berechnet wurde, dieser unzureichend für einen Ertrag wie in Versuch B war. Durch Ungenauigkeiten beim Entnehmen der Bodenproben könnte der volumetrische Wassergehalt des Bodens überschätzt worden sein, woraus eine Unterschätzung in dem zu bewässertem Wasser resultierte. Hinzugefügt werden muss, dass gelegentlich auch ein unbeabsichtigtes Entweichen des Wassers von der Dammkrone, auf der die Schläuche positioniert waren, in den Zwischendamm zu beobachten war (Abb. A 9), woraus sich eine geringere durchwurzelte Bodensubstanz, welche die Wassergaben pflanzenverfügbar zwischenspeichern konnte, ergab (MÜLLER 2016).

Die höheren Bewässerungsmengen im Prüfglied a1 im Vergleich zu Prüfglied a2 in Versuch B führten in der sechsten Ernte zu keiner Ertragssteigerung. Hingegen ging in Versuch A im Prüfglied a1 im Vergleich zu Prüfglied a2 in der sechsten Ernte aus einer Erhöhung des Wassereinsatzes um 13 % eine proportionale Ertragssteigerung von 11,5 % hervor. Aufgrund dessen erscheint es als möglich, dass ein höherer Wassereinsatz als in Prüfglied a1 des Versuches A zu weiterhin proportionalen Ertragssteigerungen in der Tröpfchenbewässerung geführt hätte.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen eines differenzierten Wassereinsatzes auf den Ertrag, die Eignung der Bewässerungssteuerung, sowie die Effizienz des Wassereinsatzes über die Tröpfchenbewässerung und Furchenbewässerung zu untersuchen. Vor dem Hintergrund geringer werdender Wasserverfügbarkeiten in vielen Regionen und deren Konsequenzen für den Kartoffelanbau, wächst die Notwendigkeit mit einem niedrigerem Wassereinsatz hohe Erträge zu erzielen. Im Rahmen der Versuche war es die Intention, Ansätze für Effizienzsteigerungspotentiale für den Wassereinsatz im Kartoffelanbau zu identifizieren.

Aus den Ergebnissen der Versuche wurde deutlich, dass die unterschiedlich hohen Knollenerträge auf den Einfluss der differenzierten Wasserversorgung zurückgeführt werden können, welche ein unterschiedlich stark ausgeprägtes Knollenwachstum während der Vegetationsphasen bewirkt. Der Vermeidung von Trockenstress kam im Rahmen beider Versuche vor allem zwischen dem 39. Tag nach der Pflanzung bis zum 53. Tag nach der Pflanzung, sowie zwischen dem 68. Tag nach der Pflanzung bis zum 83. Tag nach der Pflanzung eine besonders große Bedeutung für die Bildung hoher Knollenerträge hinzu. Daraus abzuleiten ist, dass für ein Erreichen von Effizienzzuwächsen in der Bewässerung ein besonderes Augenmerk auf den Moment des Wassereinsatzes gelegt werden sollte.

Zwar brachten die ortsüblichen Bewässerungsintervalle durchaus zufriedenstellende Erträge hervor, jedoch waren die hierfür eingesetzten Wassermengen proportional sehr hoch. Für eine optimierte Wassernutzungseffizienz erwies sich, sowohl in Versuch A, als auch in Versuch B, die gesteuerte Bewässerung mit einem Wassereinsatz ab einen Schwellenwert des CWSI von 0,4 als besonders geeignet. Hervorzuheben ist in beiden Versuchen der sehr enge Zusammenhang zwischen dem CWSI und den Frischmasseerträgen, woraus auf eine Eignung des CWSI zur Bewässerungssteuerung zu schließen ist. Ausbleibende Wassereinsätze führten zu einem Anstieg des CWSI, signifikante Ertragsminderungen konnten ab einem Schwellenwert zur Bewässerung von einem CWSI von 0,6 nachgewiesen werden.

Im Vergleich zu der Tröpfchenbewässerung, wurden in der Furchenbewässerung mit deutlich höher eingesetzten Wassermengen nicht proportional höhere Erträge erzielt. Das Resultat der Wassereinsparungen in der Tröpfchenbewässerung, welche sowohl auf die berechneten Bewässerungshöhen, als auch auf minimierte Wasserverluste durch Versickerung und Verdunstung zurückgeführt werden konnten, war eine höhere Wassernutzungseffizienz.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte beispielhaft gezeigt werden, dass es möglich ist, durch eine Steuerung der Bewässerungsmengen und -momente, sowie mit Bewässerungssystemen, die Effizienz von Wassereinsätzen zu beeinflussen. Generell lässt sich ableiten, dass mit einer zwar unterdurchschnittlichen, jedoch gesteuerten Bewässerung akzeptable Ernteerträge hervorgebracht werden können und es folglich möglich ist, die zu erwartenden globalen Folgen von einer limitierten Wasserverfügbarkeit auf den Ertrag im Kartoffelanbau zu begrenzen.

Reconocimientos

La presente tesis fue financiada por el proyecto: PNIA-Nº: 016-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Uso efectivo del agua en el cultivo de papa en zonas áridas: Mejoramiento del manejo del riego mediante el monitoreo del estatus hídrico para enfrentar al Cambio Climático”.

Un agradecimiento muy especial merece todo el equipo del Centro Internacional de la Papa, especialmente Roberto Quiroz, David Ramírez, Javier Rinza, Wendy Yactayo, Jesús Zamalloa, Nikolai Alarcón, Johan Ninanya y Cecilia Silvia por su excelente atención y gran hospitalidad, su comprensión, la gran disposición de ayudar y sobre todo por sus imparables ganas de enseñar.

También quisiera agradecerles a mis supervisores de tesis Frank Ellmer y Christina-Luise Roß por su apoyo durante el proceso de redacción de la tesis.

Danksagung

The financial support of this research was provided by: PNIA-Nº: 016-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Effective water use in potato cultivation in arid areas: Improving irrigation management by monitoring the water status to address climate change”.

Mein spezieller Dank gilt der Arbeitsgruppe des Centro Internacional de la Papa, ins Besondere Roberto Quiroz, David Ramírez, Javier Rinza, Wendy Yactayo, Jesús Zamalloa, Nikolai Alarcón, Johan Ninanya und Cecilia Silvia für ihre Gastfreundschaftlichkeit, die Hilfsbereitschaft, ihre großzügige Unterstützung und vor allem für ihre außergewöhnliche Bereitschaft ihr Wissen weiter zu vermitteln.

Des Weiteren danke ich sehr herzlich Frank Ellmer und Christina-Luise Roß für die freundliche Unterstützung während des Verfassens der Abschlussarbeit.

7 Literaturverzeichnis

ADAM, S., SCHADE, J. 2008: Neues aus der Akte Pommes Fritz. Potsdam: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg.

ANTER, J., KRAFT, M., LANGKAMP-WEDDE, T. 2018: Sensorgestützte Berechnungssteuerung – ein Blick in die angewandte Forschung. In: SCHIMMELPFENNIG, S., ANTER, J., HEIDECKE, C., LANGE, S., RÖTTCHER, K., BITTNER, F. 2018: Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Thünen Working Paper 85, Braunschweig.

BEUKEMA, H., VAN DER ZAAG, D.. 1979: Potato Improvement. Some factors and facts. In: ROJAS, G., POSADAS, A. QUIROZ, R., HOLLE, M., MALÀGA, M., 2007: Secado parcial de raíces: una promisorio técnica de riego en papa (*Solanum tuberosum* L.), Zónas Áridas, Vol. 11, S. 206–218.

BROWN, C. R., HENFLING, J. W. 2014: A History of the Potato. In: NAVARRE, R., PAVEK, J. 2014: The Potato Botany, Production and Uses. CAB International / United States Department of Agriculture, Boston.

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) 2017: Bericht zur Markt- und Versorgungslage Kartoffeln. Bonn.

DALLA COSTA, L., DELLE VEDOVE, G., GIANQUINTOI, G., GIOVANARDI, R., PERESSOTTI, A. 1997: Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. Potato Research, Vol. 40, S. 19-34.

DE ALMEIDA, F. M., SÁNCHEZ, J.A., DE LA NOVAL, W.T., CABRERA RODRÍGUEZ, J.A. 2016: Effects of different plant spacings and seed tuber sizes on some morpho-productive characteristics of potato in Huambo, Angola. Cultivos Tropicales, Vol. 37, Nr. 2, S. 88-95.

DETER, A. 2014: Kartoffeln: Korkschicht reißt durch Sauerstoffmangel. Top Agrar online (<https://www.topagrar.com/news/Acker-Agrarwetter-Ackernews-Kartoffeln-Korkschicht-reisst-durch-Sauerstoffmangel-1515291.html>, 30.05.2018)

DEUTSCHE KARTOFFELGESCHÄFTSBEDINGUNGEN - BERLINER VEREINBARUNG 1956. <http://www.berliner-vereinbarungen.de/>, Datum: 19.04.2018

DIEPENBROCK, W., ELLMER, F., LÉON, J. 2012: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. 3. Auflage. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.

DIOUF, J. 2008: FAO INTERNATIONAL YEAR OF THE POTATO 2008, New light on a hidden treasure, An End-Of-Year Report, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rom, 2008.

DWYER, L.M., BOISVERT, J.B. 1990: Response of irrigation of two potato cultivars (*Solanum tuberosum* L. "Kennebec" and "Superior"). Canadian Agricultural Engineering, Vol. 32, S. 197-203.

EL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ 2018 a (<http://senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>, Datum: 18.01.2018)

EL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ 2018 b (http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=472AC278, Datum: 19.01.2018)

ERDEM, T., ORTA, A. H., ERDEM, Y., OKURSOY, H. 2005: Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. Potato Research, Vol. 48, S. 49-58.

ERDEM, Y., ERDEM, T., ORTA, A. H., OKURSOY, H. 2006: Canopy-air temperature differential for potato under different irrigation regimes. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science, Vol. 56, S. 206-216.

FAO-UNESCO 1971: Mapa Mundial De Suelos, 1:5 000 000, Volumen IV, América del Sur. Unesco-Paris.

FERERES, E., SORIANO, M. A. 2007: Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, Vol. 58, Nr. 2, S. 147-159.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) 2008 a : (<http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/index.html>; Datum: 11.05.2018)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) 1961/2016: FAOSTAT (<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>; Datum 27.03.2018)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) 2008 b: (<http://www.fao.org/potato-2008/en/potato/economy.html>; Datum 27.03.2018)

FRICKE, E. 2018: Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung – Stand und Trends. In: SCHIMMELPFENNIG, S., ANTER, J., HEIDECHE, C., LANGE, S., RÖTTCHER, K., BITTNER, F. 2018: Bewässerung in der Landwirtschaft. Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Thünen Working Paper 85, Braunschweig.

FUCHS, M. 1990: Infrared Measurement of Canopy Temperature and Detection of Plant Water Stress. Theoretical and Applied Climatology, Vol. 42, S. 253-261. Department of Agricultural Meteorology, Agricultural Research Organisation, Bet Dagan, Israel.

GOOGLE MAPS 2018: <https://goo.gl/maps/LpqvajnfSZG2>, Datum: 24.04.2018

GOOGLE MAPS KOORDINATEN 2018: <http://www.gpskoordinaten.de/>, Datum: 19.01.2018

GUTIÉRREZ-ROSALES, R.O., ESPINOZA-TRELLES, J.A., BONIERBALE, M. 2007: UNICA: variedad Peruana para mercado fresco y papa frita con tolerancia y resistencia para condiciones climáticas adversas. Revista latinoamericana de la Papa, VOL 14, NO 1, S. 41-50, Asociación Latinoamericana de la Papa (ALAP), Mar del Plata.

HAVERKORT, A.J., VAN DER WAART, M., BODLAENDER, K. B. A. 1990: The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field conditions. Potato Research, Vol. 33, S. 89-96.

HAWKES, J., FRANCISCO-ORTEGA, J. 1993: The early history of the potato in Europe. Euphytica Vol. 70, 1-7, Kluwer Academic Publishers, Netherlands

HAWKES, J.G. 1992: History of the Potato. In: HARRIS, P.M. 1992: The Potato Crop. 1992 Springer Science + Business Media Dordrecht. North Yorkshire Suffolk.

HAWKES, J.G. 1994: Origins of Cultivated Potatoes and Species Relationships. In: BRADSHAW, J. E., MACKAY, G. R. 1994: POTATO GENETICS. CAB International, University Press, Cambridge.

HIJMANS, R.J. 2003: The effect of climate change on global potato production. American Journal of Potato Research, Vol. 80, S. 271–280. International Potato Center, La Molina, Lima 12, Peru.

HOLLWEG, W. 2016: Beregnung ist alternativlos, sonst ist der Standort hier tot. In: KARTOFFELBAU, Vol. 3, Jg. 67, S. 36-39, Oldenburg.

HOOKE, W. 1983: Research for the Potato in the Year 2000. Training and Communications Department International Potato Center, Lima.

IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER JR., P.J., REGINATO, R.J., HATFIELD, J.L. 1981: Normalizing the stress degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology, Vol. 24, S 45-55.

INTERNATIONAL POTATO CENTER 1984: Potato for the Developing World. Lima, Peru.

INTERNATIONAL POTATO CENTER 2018: (<https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures/>; Datum: 12.02.2018)

JACKSON, R.D., IDSO, S. B., REGINATO, R. J., PINTER JR., P. J. 1981: Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resources Research*, Vol. 17, Nr. 4, S. 1133-1138. U.S. Water Conservation Laboratory, Arizona.

JEFFERIES, R.A., 1995: Physiology of crop response to drought. In: Haverkort, A.J., MacKerron, D.K.L. 1995: *Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth*. S. 61-74. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.

JONES, H. G. 2004: Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, Nr. 407, S. 2427-2436.

JONES, H. J. 2014: *Plants and Microclimate - A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. University Printing House, Cambridge.

JONES, H.G. 1999: Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 95, S. 139-149.

JONES, H.G., SCHOFIELD, P.: 2008: Thermal and other remote sensing of plant stress. *General and Applied Plant Physiology*, Special Issue, 34 (1-2), S. 19-32.

KILIAN, R. 1988: *DIE KARTOFFEL: Geschichte, Geräte, Produkte*. Pröll Druck und Verlag GmbH, Augsburg.

KOLBE, H. 2018: Einflussfaktoren auf Ertrag und Inhaltsstoffe. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. (<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/KB1.pdf>, Datum: 16.04.2018)

KUMAR, S., ASREY, R., MANDAL, G., SINGH, R. 2009: Microsprinkler, drip and furrow irrigation for potato (*Solanum tuberosum*) cultivation in a semi-arid environment. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 79 (3): 165–9.

LA BARRE, W. 1947: Potato taxonomy among the Aymará Indians of Bolivia. In: HAWKES, J.G. 1992: *History of the Potato*. In: HARRIS, P.M. 1992: *The Potato Crop*. 1992 Springer Science+Business Media Dordrecht. North Yorkshire Suffolk.

LANDESAMT FÜR STATISTIK NIEDERSACHSEN 2015: Die Hälfte der deutschen Kartoffeln kommt aus Niedersachsen. Nr 69/15. (<https://www.statistik.niedersachsen.de/aktuelles/presse/pressearchiv/die-haelfte-der-deutschen-kartoffeln-kommt-aus-niedersachsen-137273.html>; Datum: 31.03.2018)

LEVY, D., COLEMAN, W., K., 2014: *Plant- Water Relations and Irrigation Management of Potato*. In: NAVARRE, R., PAVEK, J. 2014: *The Potato Botany, Production and Uses*. CAB International / United States Department of Agriculture, Boston.

LOREY, H. 2006: Tartuffli Alte Kartoffelsorten neu entdeckt. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH.

MARTINS 1976: New Archaeological Techniques for the Study of Ancient Root Crops in Peru. In: HAWKES, J.G. 1992: History of the Potato. In: HARRIS, P.M. 1992: The Potato Crop. 1992 Springer Science + Business Media Dordrecht. North Yorkshire Suffolk.

MEYER 2016, in HOLLWEG, W 2016: Beregnung ist alternativlos, sonst ist der Standort hier tot. Kartoffelbau, Vol. 3 Jg. 67, S. 36, Oldenburg.

MICHEL, R., SOURELL, H. 2014: Bewässerung in der Landwirtschaft. Erling Verlag. Gedruckt in der europäischen Union.

MICHEL, R.J. 2013: Berechnungsstrategien zur Erzeugung von Qualitätskartoffeln. In KARTOFFELBAU, Vol. 5, Jg. 64, S. 44-47, DLG AgroFood Medien GmbH, Bonn.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO 2018: http://minagri.gob.pe/portal/images/minag/rnn_mapa6suelos.jpg, Datum: 21.03.2018

MONNEVEUX, P., RAMÍEREZ, D. A., PINO, M.P. 2013: Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.) Can we learn from drought tolerance research in cereals?. Plant Science, Vol. 205– 206, S. 76– 86.

MOORBY, J.R. 1978: The physiology of growth and tuber yield. In: DALLA COSTA, L., DELLE VEDOVE, G., GIANQUINTOI, G., GIOVANARDI, R., PERESSOTTI, A. 1997: Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. Potato Research, Vol. 40, S. 19-34.

MÜLLER, M., DEMMEL, M., BRANDHUBER, R., KELLERMANN, A. 2016: Kartoffeln tropfgenau wässern. In KARTOFFELBAU, Vol. 4, Jg. 67, S. 45-47, DLG AgroFood Medien GmbH, Bonn.

MULLINS, E., MILBOURNE, D., PETTI, C., DOYLE-PRESTWICH, B., MEADE, C. 2006: Potato in the age of biotechnology. Trends in Plant Science, Vol. 11 No. 5, S. 254-260. ELSEVIER, Amsterdam.

NETAFIM 2018: <http://www.netafimuk.com/crop/potato>, Datum: 24.04.2018.

NICHOLS D. F., RUF, R. H. 1967: Relation between moisture stress and potato tuber development. In: STARK, J.C., WRIGHT, J.L. 1985: Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. American Potato Journal, Vol 62, S. 57-68.

NITSCH, A. 2013: Praxishandbuch Kartoffelbau. Erling Verlag – Agrimedia, Europäische Union

NUNN, N., QIAN, N. 2011: The potatoes contribution to population and urbanization. Evidence from a historical experiment. The Quarterly Journal of Economics, Vol, 126, S. 550-593.

OBIDIEGWU, J.E., BRYAN, G. J., JONES, H. J., PRASHAR, A. 2015: Coping with droughts: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. Frontiers in Plant Science, Vol. 6, Artikel: 542.

OTTENJANN H., ZIESSOW K. 1992: Die Kartoffel – Geschichte und Zukunft einer Kulturpflanze. In RÖBBELEN, G. 2013: Der Preußenkönig und die Kartoffel. Nachrichten der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Göttingen.

PACHOLD, P. J. 2010: Bewässerung im Gartenbau. In: MICHEL, R., SOURELL, H. 2014: Bewässerung in der Landwirtschaft. Erling Verlag. Gedruckt in der europäischen Union.

PETERS, R. 2018: Erfolgreich Kartoffeln legen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

PRASHAR, A., YILDIZ, J., MCNICOL J.W., BRYAN G.J., JONES H.G. 2013: Infra-red Thermography for High Throughput Field Phenotyping in *Solanum tuberosum*. Plos one, Vol. 8, Issue 6.

PROPLANTA - Das Informationszentrum für die Landwirtschaft 2018: (<https://www.proplanta.de/Kartoffel/Wirtschaftliche-Bedeutung> Kartoffel_Pflanze1152187112.html; Datum: 27.03.2018)

RAMIREZ, D. A., YACTAYO, W., RENS, L. R., ROLANDO, J. L., PALACIOS, S., MENDIBURU, F., MARES, V., BARREDA, C., LOAYZA, H., MONNEVEUX, P., ZOTARELLI, L., KHAN, A., QUIROZ, R. 2016: Defining biological thresholds associated to plant water status for monitoring water restriction effects: Stomatal conductance and photosynthesis recovery as key indicators in potato. Agricultural Water Management, Vol. 177, S. 369-378, ELSEVIER, Amsterdam.

RIEDEL, A., FRICKE, E. 2016: Feldberegnung: Optimaler Einsatz. In: KARTOFFELBAU, Vol. 5, Jg. 66, S. 35-39, DLG AgroFood Medien GmbH, Bonn.

RINZA, J. 2017: Messung des CWSI. Persönliche Mitteilung.

ROJAS, G., POSADAS, A. QUIROZ, R., HOLLE, M., MALÀGA, M., 2007: Secado parcial de raíces: una promisorio técnica de riego en papa (*Solanum tuberosum* L.), Zonas Áridas, Vol. 11, S. 206–218.

RUD, R., COHEN, Y., ALCHANATIS, V., LEVI, A., BRIKMAN, R., SHENDEREY, C., HEUER, B., MARKOVITCH, T., DAR, Z., ROSEN, C., MULLA, D., NIGON, T. 2014: Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. Precision Agriculture, Vol. 15, S. 273-289. Springer Science + Business Media, New York.

SALAZAR, L.F. 1995: Los Virus de la Papa y su Control. CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. Lima, Peru.

EL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI) 2018 a (<http://senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>, Datum: 18.01.2018)

EL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI) 2018 b (http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=472AC278, Datum: 19.01.2018)

SHOCK, C.C., WANG, F., FLOCK, R., ELDREDGE, E., PEREIRA, A., KLAUZER, J. 2013: Drip Irrigation Guide for Potatoes. (<https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8912.pdf>), Datum: 24.04.2018

SOOD, M. C., SINGH, N., 2003: Water Management. In: RAMIREZ, D. A., YACTAYO, W., RENS, L. R., ROLANDO, J. L., PALACIOS, S., MENDIBURU, F., MARES, V., BARREDA, C., LOAYZA, H., MONNEVEUX, P., ZOTARELLI, L., KHAN, A., QUIROZ, R. 2016: Defining biological thresholds associated to plant water status for monitoring water restriction effects: Stomatal conductance and photosynthesis recovery as key indicators in potato. Agricultural Water Management, Vol. 177, S. 369-378, ELSEVIER, Amsterdam.

SPOHRER, K. 2015: Trends bei der Bewässerungstechnik. In: KARTOFFELBAU, Vol. 11, Jg. 66, S. 12-14, DLG AgroFood Medien GmbH, Bonn.

STAHR, K., KANDELER, E., HERRMANN, L., STRECK, T. 2016 Bodenkunde und Standortlehre. 3. Auflage. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.

STARK, J.C., LOVE, S.L., KING, B.A., MARSHALL, J.M., BOHL, W.H., SALAIZ, T. 2013: Potato cultivar response to seasonal drought patterns. American Potato Journal, Vol. 90, S. 207-216.

STARK, J.C., MCCANN, I. R. 1992: Optimal allocation of limited water supplies for Russet Burbank Potatoes. American Potato Journal, Vol. 69, S. 413-421.

STEDUTO, P., HSIAO, T. C., FERERES, E., RAES, D. 2012: Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome 2012.

SYNGENTA 2015: Berechnung bei Kartoffeln (<https://www.syngenta.de/news/aktuelles-kartoffeln/berechnung-bei-kartoffeln>; Datum: 31.03.2018)

UGENT D., DILLEHAY T., RAMIREZ C. (1987): Potato remains from a late Pleistocene Settlement in Southcentral Chile. Economic Botany, Vol. 41 (1), 17-27, New York Botanical Garden, Bronx, New York.

UNECE-NORM FFV-52 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle für Speisefrüher und Speisekartoffeln. Ausgabe 2011, Vereinte Nationen, New York und Genf.

UNO-Resolution 60/191 2006: Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2005: 60/191. International Year of the Potato, 2008. Generalversammlung der Vereinten Nationen.

VAN LOON, C. D. 1981: The effect of water stress on potato growth, development, and yield. American potato Journal, Vol. 58, S. 51-59.

WALWORTH, J.L., CARLING, D. E. 2002: Tuber Initiation and Development in Irrigated and Non-Irrigated Potatoes. American Journal of Potato Research, Vol. 79, S. 387-395.

WIEGAND, C. L., NAMKEN, L. N. 1966: Influences of Plant Moisture Stress, Solar Radiation, and Air Temperature on Cotton Leaf Temperature. Agronomy Journal, Vol. 58, S. 582-586.

WURR, D. C. E. 1977: Some observations of patterns of tuber formations and growth in the potato. Potato Research, Vol. 20, S. 63-75.

YAZAR, A., HOWELL, A.T., DUSEK, D.A., COPELAND, K.S. 1999: Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. Irrigation Science, Vol. 18, S. 171-180.

YUAN, G., LUO, Y., SUN, X., TANG, D. 2004: Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, Vol. 64, S. 29-40.

YUAN. B., NISHIYAMA. S., KANG. Y. 2003: Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potatoes. *Agricultural Water Management* Vol. 62, 153-167, ELSEVIR, Amsterdam. Die Kartoffel ist recht empfindlich gegenüber Wasserstress (YUAN et al. 2003).

8 Anhang

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abbildung A 1: 32 der insgesamt 40 Parzellen, links Versuch A, rechts Versuch B am 56. Tag nach der Pflanzung (30.11.2017).....	71
Abbildung A 2: Vorgekeimtes, zertifiziertes Saatgut unmittelbar vor der Saat am 05.10.2017.....	71
Abbildung A 3: Durchschnittswerte der Windgeschwindigkeit in m s^{-1} von 13:30 Uhr bis 15:00 Uhr und die Niederschlagshöhe in mm.....	72
Abbildung A 4: Durchschnittswerte des Sättigungsdefizits in kPa und der Globalstrahlung in W m^{-2} von 13:30 Uhr bis 15:00 Uhr.....	72
Abbildung A 5: Feuchte Blattoberflächen am 18.12.2017 = 74. Tag nach der Pflanzung um 07:44 Uhr.....	73
Abbildung A 6: Messwerte des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung im Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung.....	74
Abbildung A 7: Messwerte des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung im Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung.....	75
Abbildung A 8: Blattbedeckungsgrad am 49. Tag nach der Pflanzung (23.11.2017); links Prüfglied a1 in Parzelle 7 mit einem Bedeckungsgrad von 100 %, rechts Prüfglied a4 in Parzelle 8 mit einem Bedeckungsgrad von 53,7 %.....	76
Abbildung A 9: Entweichen des Wassers von der Dammkrone in den Zwischendamm im Prüfglied a2 in Versuch A am 75. Tage nach der Pflanzung (19.12.2017).....	76

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tabelle A 1 : Verwendete Düngemittel und deren jeweilige Konzentration an Kalium, Schwefel, Nitrat und Phosphor.....	77
Tabelle A 2: Auflistung der im Feldversuch angewendeten Pflanzenschutzmittel, deren Wirkstoffe, Klassifikation und Zielorganismen.....	78

Abbildungen:

Abbildung A 1: 32 der insgesamt 40 Parzellen, links Versuch A, rechts Versuch B am 56. Tag nach der Pflanzung (30.11.2017)



Abbildung A 2: Vorgekeimtes, zertifiziertes Saatgut unmittelbar vor der Saat am 05.10.2017

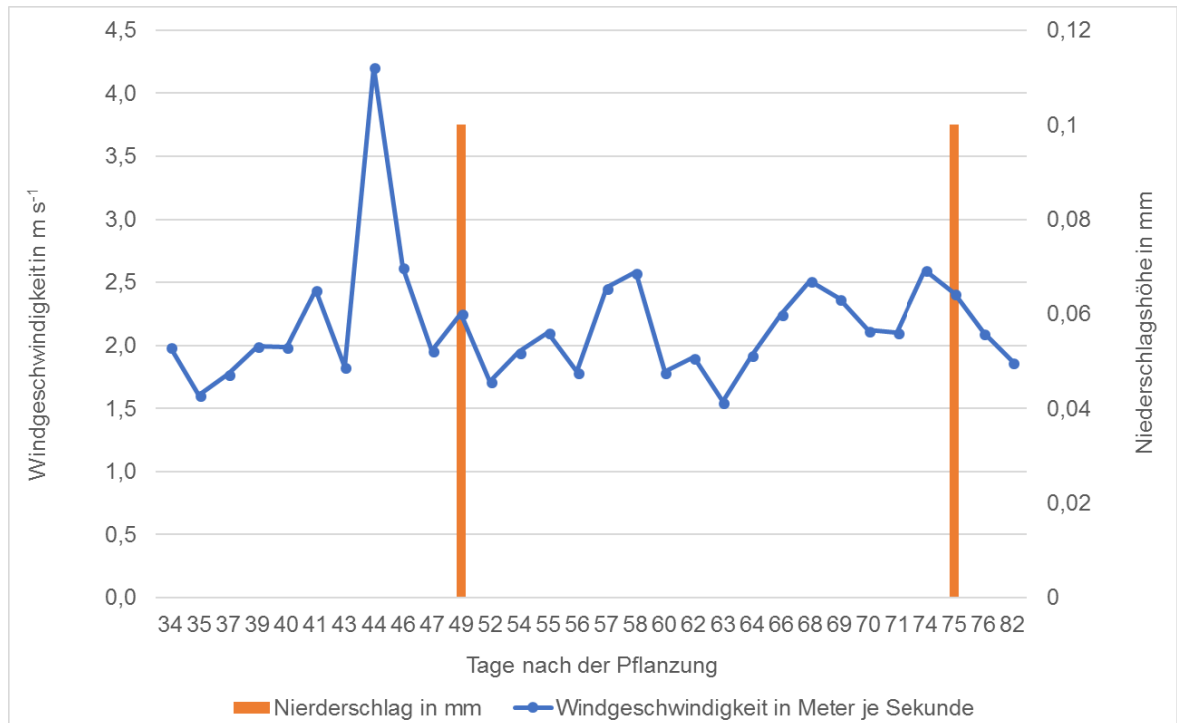


Abbildung A 3: Durchschnittswerte der Windgeschwindigkeit in m s^{-1} von 13:30 Uhr bis 15:00 Uhr und die Niederschlagshöhe in mm

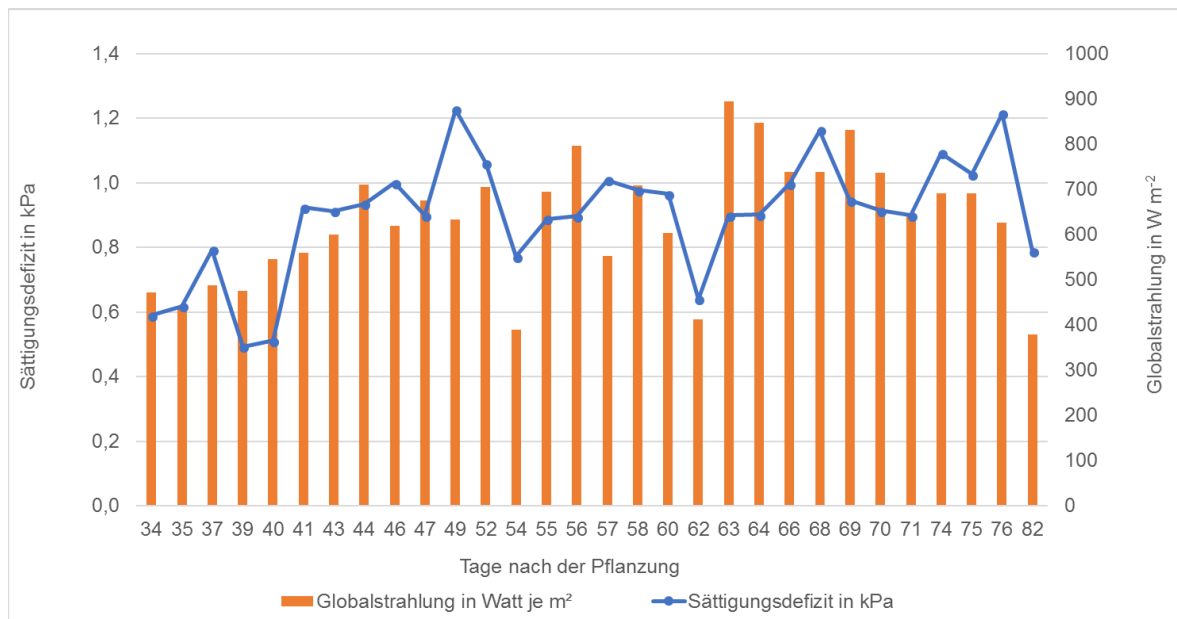


Abbildung A 4: Durchschnittswerte des Sättigungsdefizits in kPa und der Globalstrahlung in W m^{-2} von 13:30 Uhr bis 15:00 Uhr



Abbildung A 5: Feuchte Blattoberflächen am 18.12.2017 = 74. Tag nach der Pflanzung um 07:44 Uhr

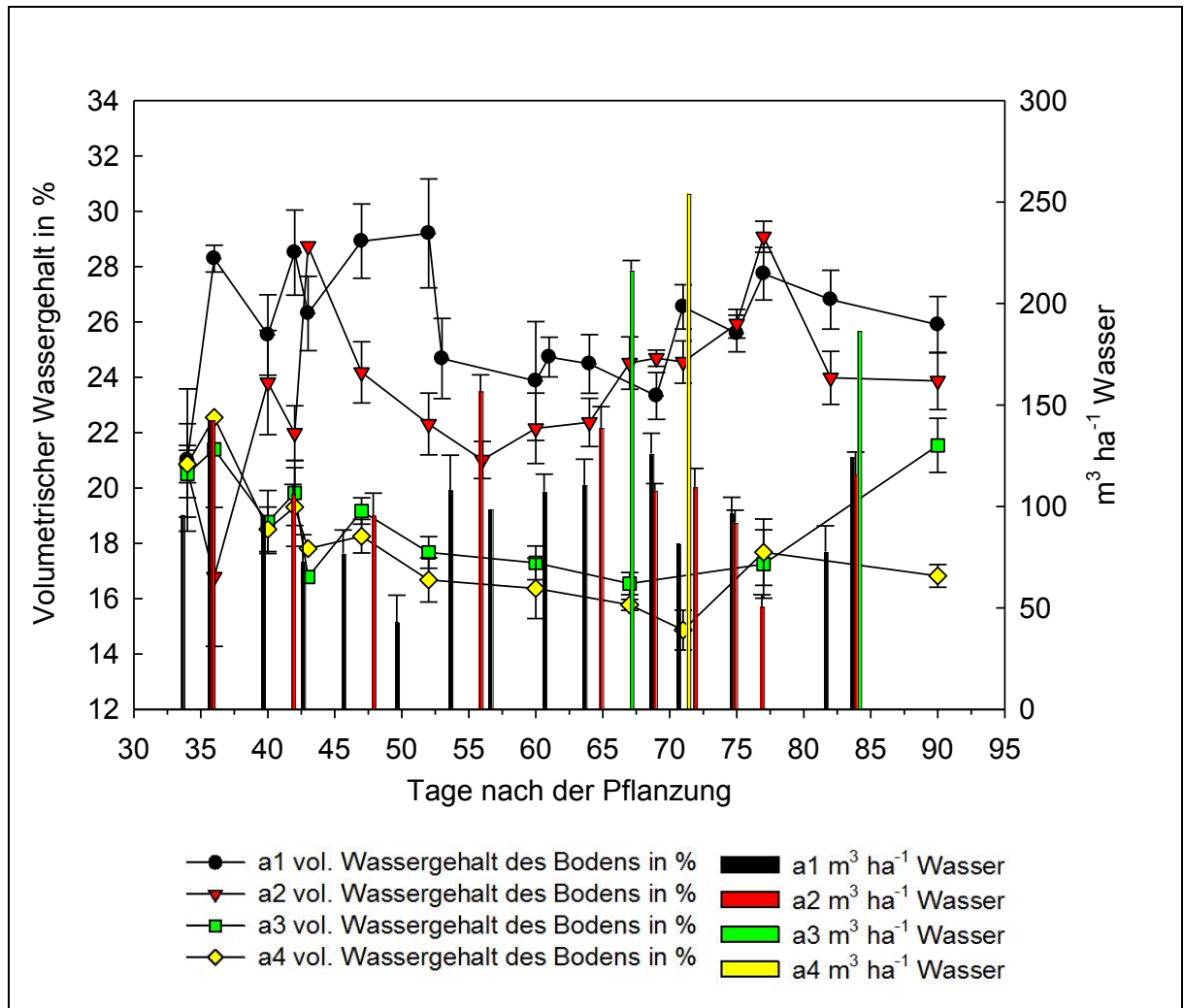


Abbildung A 6: Messwerte des volumetrischen Wassergehalt des Bodens in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung im Versuch A; Fehlerbalken = Standardabweichung

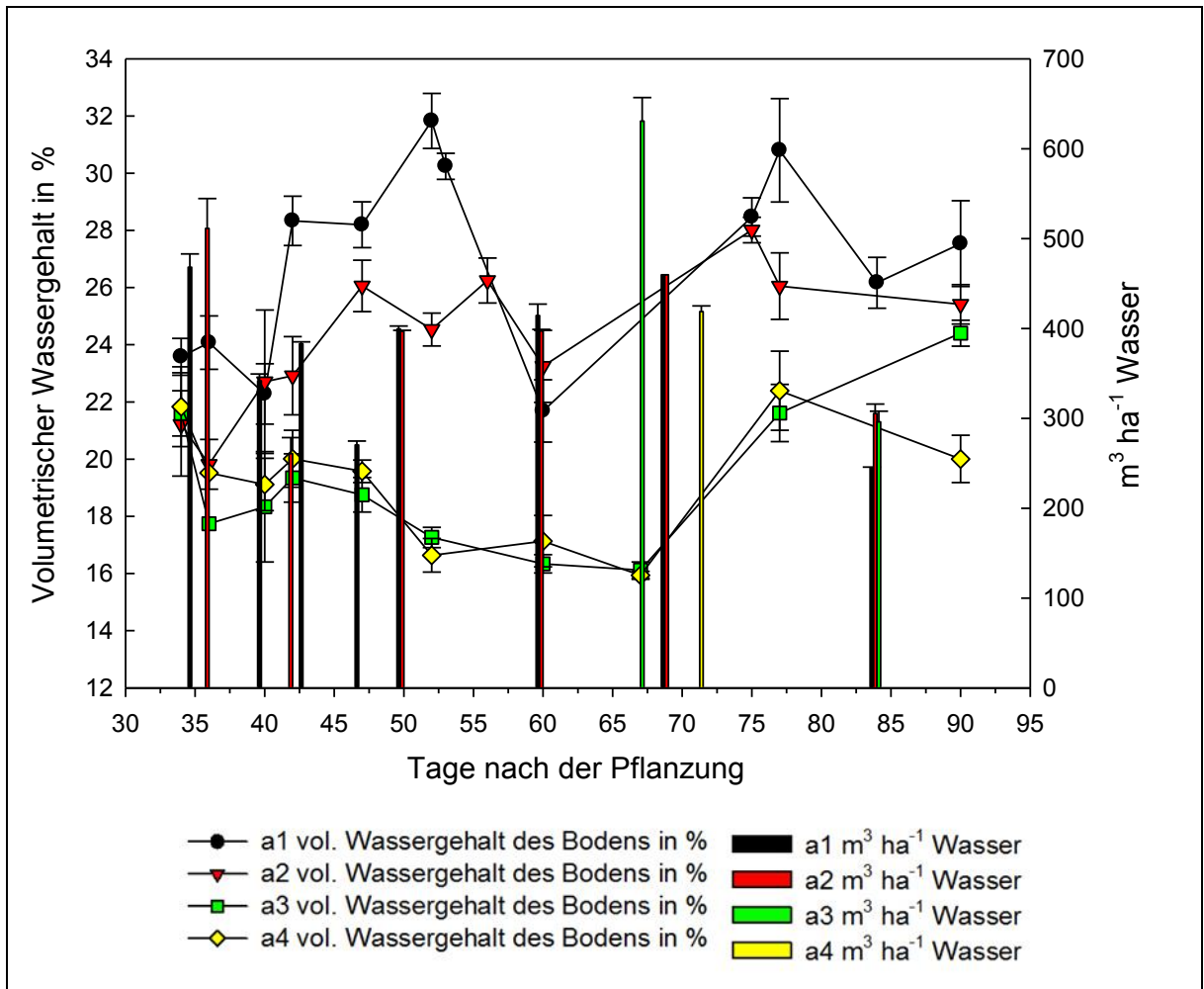


Abbildung A 7: Messwerte des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens in den 4 Prüfgliedern sowie eine Quantifizierung des Wassereinsatzes zu den jeweiligen Tagen nach der Pflanzung im Versuch B; Fehlerbalken = Standardabweichung



Abbildung A 8: Blattbedeckungsgrad am 49. Tag nach der Pflanzung (23.11.2017); links Prüfglied a1 in Parzelle 7 mit einem Bedeckungsgrad von 100 %, rechts Prüfglied a4 in Parzelle 8 mit einem Bedeckungsgrad von 53,7 %



Abbildung A 9: Entweichen des Wassers von der Dammkrone in den Zwischendamm im Prüfglied a2 in Versuch A am 75. Tage nach der Pflanzung (19.12.2017)

Tabellen:

Tabelle A 1 : Verwendete Düngemittel und deren jeweilige Konzentration an Kalium, Schwefel, Nitrat und Phosphor

Pflanzennährstoffe/ Dünger	Kalium	Schwefel	Nitrat	Phosphor
Kaliumsulfat (K₂SO₄)	50 %	18 %	-	-
Ammoniumnitrat (NH₄NO₃)	-	-	33 %	3 %
Diammoniumphosphat ((NH₄)₂HPO₄)	-	-	18 %	46 %

Tabelle A 2: Auflistung der im Feldversuch angewendeten Pflanzenschutzmittel, deren Wirkstoffe, Klassifikation und Zielorganismen

Präparat	Wirkstoff	Klassifikation	Zielorganismus
Aceite Agricola	Öl	Insektizid	Aleyrodidae
Confidor® 350 SC	Imidacloprid	Insektizid	Prodiplosis longifila
Enziprom®	-	Bioaktivator	-
Evisect® 50 SP	Thiocyclam Hydrogenox- alat	Insektizid	Phthorimaea operculella, Liriomyza quadrata
Farmate	Benomyl	Fungizid	Phytophthora Infestans, Botrytis Cinera
Kieto 150 WG	Emamectin benzoat, Lufenuron	Insektizid	Spodoptera Frugiperda, Heliothis Virescens
Movento 15 OD	Spirotet- ramat	Insektizid	Bemisia spp., Myzus spp.
Sorba 50 EC	Lufenuron	Insektizid	Scrobipalpula absoluta
Proton Herbal Bio Pesticides	Dimethoate	Insektizid	Spodoptera, Prodiplosis longifila
Tenaz® 250 EW	Tebucona- zole	Fungizid	Puccinia pittieriana P. Henn.
Trigard® 75 WP	Cyromazin	Insektizid	Liriomyza huidobrensis
Vertimec 18 CE	Abamectin	Insektizid	Liriomyza huidobrensis
Rugby 10G	Cadusafos	Nematizid	Premnotrypes- suturicallus

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit noch nicht für andere Prüfungen eingereicht wurde, dass sie selbstständig verfasst wurde und dass sämtliche Quellen einschließlich Internetquellen, die unverändert oder abgewandelt wiedergegeben werden, insbesondere Quellen für Texte, Grafiken, Tabellen und Bilder, sind als solche kenntlich gemacht sind. Mir ist bekannt, dass bei Verstößen gegen diese Grundsätze ein Verfahren wegen Täuschungsversuchs bzw. Täuschung eingeleitet wird.

Datum, Unterschrift